

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE.**

**Ministère De l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique**



**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
Faculté de Génie de la Construction.
Département De Génie Civil.**



**Mémoire de fin d'étude
Option : Structure**

Thème

*EVALUATION DES
OUVRAGES D'ART DE LA
RN12. WILAYA TIZI OUZOU*

Réalisé par :

SAHKI Lydia

Propos et dirigé par :

Mr DEHMOUS Hocine

Année : 2018/2019

Remerciements

Avant tout je remercie le tout puissant "**ALLAH**" pour m'avoir donnée du courage, de la sérénité et surtout la force et la volonté pour bien mener et achever ce travail.

Ensuite, je tiens à exprimer ma reconnaissance à mon promoteur **Mr Hocine DEHMOUS** pour son suivi durant l'évolution de mon travail, ainsi que pour ses conseils avisés, ses remarques pertinentes et la confiance qu'il m'a prodiguée.

Je remercie également les membres du jury qui me font l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.

J'exprime aussi, ma gratitude à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation, ainsi qu'à toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont apportée assistance et aide dans la réalisation de mon projet.

*Je remercie aussi **M.HANNACHI** d'avoir répondu à toutes mes interrogations.*

Enfin, je ne saurais terminer mes remerciements sans les adresser à ma famille pour les sacrifices qu'elle a fait pour que je termine mes études dans les meilleures conditions.

Dédicaces

Je dédie ce modeste mémoire à ma famille qui m'a toujours soutenu et encouragé pendant tout mon cursus d'étude, exceptionnellement à mon très cher père qui m'a toujours aidé et sans lui je ne serai pas parvenu à ce stade.

Ma très chère mère que j'admire.

Mon très cher mari Mr Bessalem Kamal.

Mes beaux parents.

Mes beaux frères et sœurs.

Mon adorable grand-mère.

Mes chères soeurs Noura et Liza et mon adorable frère Amar

Mes ami(es) et tous ceux qui ont contribué et participé à la réalisation de ce mémoire.

Résumé

Les ouvrages peuvent être affectés par des désordres de gravité très variables et dont les causes sont multiples. Au fil du temps, ces désordres deviennent de plus en plus dangereux, ce qui nous incite à réfléchir sur l'état actuel de ces ouvrages. On se propose dans cette étude d'appliquer deux méthodes d'évaluation des ouvrages d'art à savoir : La méthode IQOA et la méthode de Kubo-Katayama. L'évaluation a concerné 9 ouvrages situés sur la RN12. Les résultats ont montré que dans l'ensemble, ces ouvrages sont en bon état. Cependant certains ouvrages nécessitent une intervention immédiate pour des raisons de manque d'équipement et manque de protection.

Mots clés : Pathologie, Désordre, Diagnostic, Auscultation, Vulnérabilité, Ponts, Expertise.

Table de matiere

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Pathologies des Ouvrages d'Art	
Introduction :	3
I.1 Les principaux désordres dans les ponts :	3
I.1.1 Actions sollicitant les ouvrages d'art :	3
I.1.1.1 Actions dus au trafic :	3
I.1.1.2 Action climatique :	3
I.1.1.3 Actions accidentelles :	4
I.2.2 Origine de la dégradation :	6
I.2.2.1 Les altérations du béton :	6
I.2.2.2 La corrosion de l'acier :	10
I.2.3 Les Dégradations :	11
I.2.3.1 Les Fissures :	11
I.2.3.2 Les différentes causes de fissurations :	12
I.2.3.3 Les Autres dégradations :	12
Conclusion.....	15
Chapitre II : Méthodologie de diagnostic des ouvrages d'art	
Introduction :	16
II.1 Pourquoi un diagnostic ?	16
II.3 Les données nécessaires pour le diagnostic d'un ouvrage :	17
II.3.1 Les données de recensement :	17
II.3.2 Les données d'évaluation :	17
II.3.3 Les données décrivant le niveau de service rendu :	17
II.3.4 Les types de diagnostic :	18
II.3.4.1 le pré-diagnostic :	18
II.3.4.2 Inspection détaillée :	19
II 4 Les opération de diagnostic sur les parties de l'ouvrage d'art	21
II.5 L'auscultation du pont :	22
II.5.1 Choix des méthodes d'essai pour l'auscultation d'un ouvrage :	22
II.6 Interprétation et Analyse des résultats :	23
II.6.1 Analyse des résultats :	23

II.6.2 L'interprétation :.....	23
II.7 Evaluation de l'ouvrage :.....	23
Conclusion.....	25
Chapitre III :Méthodes d'évaluation des ouvrages d'arts	
Introduction.....	26
III .1. Principe de la méthode IQOA :.....	26
III .2 Classification de l'état des ponts :.....	27
III .2.1 Classe d'état :	27
III .2.2 Risque pour l'utilisateur : Mention "S" :	28
III .2.3 Note d'évaluation globale :.....	28
III .3 Démarche d'évaluation de l'état des ponts :	28
III .4 Définition des parties constitutives d'un pont :.....	29
III .4.1 Structure :	29
III .4.2 Eléments de protection :.....	29
III .4.3 Equipements :.....	30
III .5 Définitions des interventions sur un pont :.....	32
III .5.1 Entretien courant :	32
III .5.2 Entretien spécialisé :.....	32
III .5.3 Réparation :	33
III .6 : la méthode de l'indice de vulnérabilité Iv (kubo-katayama)	34
III .6.1 Méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique :	35
Conclusion.....	38
Chapitre IV : Evaluation de quelques ponts de la RN12	
Introduction :.....	39
IV.1 : Application de la méthode IQOA sur des ouvrages de la RN 12 et kubo-katayama :39	
IV.2 : Evaluation par la méthode IQOA :	43
IV.3 : Evaluation par la méthode Kubo-Katayama :.....	58
Conclusion.....	67
Conclusion général.....	68

Liste des figures

Figure I.1 : Photo réaliser par le MEB d'une fissure interne causée par Gel-Dégel.....	7
Figure I.2 : Abrasion visible sur les fondations du pont	7
Figure I.3 : Fissures polygonales et zones d'érosion par abrasion	8
Figure I.4 : Effet du Ressuage du béton	8
Figure I.5 : Corrosion des armatures	10
Figure I.6 : Organigramme de classification des fissures selon leurs morphologies	11
Figure I.7 : Efflorescence	13
Figure I.8 : Les épaufrures	13
Figure I.9 : Ecaillage du béton	14
Figure I.10 : Délamination du béton	14
Figure I.11 : Ségrégation des éléments de béton	14
Figure I.12 : Défauts de mal exécution des travaux	15
Figure II.1 : Organigramme d'une inspection visuelle	18
Figure II.2 : Organigramme de diagnostic d'élément de l'ouvrage	21
Figure III.1 : Organigramme de la méthodologie de classification des ponts	29
Figure III.2 : Chute des poutres de ponts isostatiques	35
Figure III.3 : Organigramme de l'analyse de la vulnérabilité des ponts (Méthode de Katayama)	36
Figure IV.1 : Pont Cadre	39
Figure IV.2 : Pont Mixte	39
Figure IV.3 : Pont Rail	40
Figure IV.4 : Trémie Centrale	40
Figure IV.5 : Pont poutre âme plein.....	40
Figure IV.6 : Pont à câbles.....	41
Figure IV.7 : Pont dalle.....	41
Figure IV.8 : pont Mixte.....	42
Figure IV.9 : pont Mixte	42

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les dommages induits par le séisme.....	5
Tableau I.2 : Dégradations d'origine chimique.....	9
Tableau I.3 : Les différentes causes de fissuration.....	12
Tableau II.1 : Types d'inspection détaillé.....	20
Tableau II.2 : Différents types d'évaluation de l'ouvrage	24
Tableau III.1 : Classification des ouvrages selon la méthode IQOA	27
Tableau III.2 : Appréciation de l'analyse de la vulnérabilité des ponts.....	37
Tableau III.3 : Définition des degrés de dommage des ponts(original-calibré).....	38
Tableau IV. 1 : Pont Cadre PK44+300:.....	44
Tableau IV.2 : Pont Mixte PK44+700 :.....	47
Tableau IV. 3 : Pont Rail PK 46+600 :.....	49
Tableau IV. 4 : Trémie Centrale PK46+850.....	51
Tableau IV. 5 : Pont poutre âme pleine PK 9+290.....	52
Tableau IV. 6 : Pont à câbles PK30+300.....	53
Tableau IV. 7 : Pont dalle PK 38+000.....	54
Tableau IV. 8 : Pont Mixte PK76+150.....	55
Tableau IV. 9 : Pont Mixte PK55+050.....	56
Tableau IV. 10 : Classification par la méthode IQOA.....	57
Tableau IV. 11 : Description du pont PK 44+300.....	58
Tableau IV. 12 : Conditions géologique et sismique du pont PK 44+300.....	58
Tableau IV. 13 : Description du pont PK44+700.....	59
Tableau IV. 14 : Conditions géologique et sismique du pont PK 44+700.....	59
Tableau IV. 15 : Description du pont PK 46+600.....	60
Tableau IV. 16 : Conditions géologique et sismique du pont PK 46+600.....	60
Tableau IV. 17 : Description du pont PK 46+850.....	60
Tableau IV. 18 : Conditions géologique et sismique du pont PK 46+850.....	60

Tableau IV. 19 : <i>Description du pont PK 9+290</i>	61
Tableau IV. 20 : <i>Conditions géologique et sismique du pont PK 9+290</i>	61
Tableau IV. 21: <i>Description du pont PK 30+300</i>	62
Tableau IV. 22 : <i>Conditions géologique et sismique du pont PK 30+300</i>	62
Tableau IV. 23 : <i>Description du pont PK 38+000</i>	63
Tableau IV. 24 : <i>Conditions géologique et sismique du pont PK 38+000</i>	63
Tableau IV. 25 : <i>Description du pont PK 76+150</i>	64
Tableau IV. 26 : <i>Conditions géologique et sismique du pont PK 76+150</i>	64
Tableau IV. 27 : <i>Description du pont PK 55+050</i>	65
Tableau IV. 28 : <i>Conditions géologique et sismique du pont PK 55+050</i>	65
Tableau IV. 29 : <i>L'évaluation finale</i>	66

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Le réseau routier algérien demeure l'un des plus denses du continent africain, sa longueur est estimée à 108 302 km de routes et plus de 3 756 ouvrages d'art. Certains ouvrages demeurent en excellent état après plus d'un siècle d'exploitation et d'exposition à des conditions climatiques particulièrement rigoureuses, alors que d'autres ouvrages récents présentent une détérioration importante. La plupart de ces ouvrages d'art sont réalisés en béton armé, ils subissent, au cours de leurs vie de service, des modifications structurelles, fonctionnelles ou esthétiques en fonction de leur importance, leur exploitation et leur position environnementale. Ces causes sont dues soit à l'accroissement des charges qui sollicitent la structure soit aux défauts dans le calcul ou dans l'exécution de l'ouvrage.

Afin d'augmenter la durée de vie d'un ouvrage d'art, il y a lieu de prévoir une consolidation ou réparation adéquate. Mais il est important, pour que la réparation soit de qualité, de savoir toutes les causes et les types de pathologies apparentes ou cachées affectant cet ouvrage. Pour connaître leur nature, leur étendue et leur potentialité d'évolution, il est très essentiel d'établir le diagnostic nécessaire pour la prise de décision relative aux actions d'entretien, de maintenance ou de réhabilitation de l'ouvrage concerné.

A l'instar des pays à forte sismicité, l'Algérie possède un patrimoine non loin d'être négligeable d'ouvrages de génie civil, particulièrement de ponts dont la période d'exploitation date de plusieurs années. La plupart de ces ouvrages ont été construits avant l'avènement des règles de calcul et de conception vis-à-vis des sollicitations sismiques. De plus, particulièrement dans le nord de l'Algérie, le niveau des sollicitations sismiques dont il faut tenir compte pour des fins d'évaluation a considérablement augmenté au cours des dernières années.

Ainsi, les points qui seront développés dans le cadre de ce travail concernant la pathologie des ouvrages d'art, causes et désordres dans le chapitre 1. Le chapitre 2 sera consacré aux méthodes de surveillances des ouvrages d'art. Dans le chapitre 3, nous présenterons les deux méthodes d'expertise (IQA) et kubo et katayama. Dans le 4ème chapitre nous présenterons

l'évaluation de 9 ouvrages par la méthode Image de Qualité Des Ouvrages d'Art (IQOA) et kubo et katayama.

CHAPITRE I :
PATHOLOGIES DES
OUVRAGES D'ART

Chapitre I

Pathologies des Ouvrages d'Art

Introduction

Les ouvrages sont soumis à des sollicitations toujours croissantes dont les causes sont multiples. Ceci engendre des dégradations résultant de l'augmentation des charges et des divers phénomènes naturels et physico-chimiques qui sont enregistrés et s'ajoutent au cycle naturel du vieillissement des structures.

I.1 Les principaux désordres dans les ponts

I.1.1 Actions sollicitant les ouvrages d'art

I.1.1.1 Actions dus au trafic

Les ponts sont sollicités par le trafic qui représente l'une des causes majeures de leur vieillissement. Le trafic routier varie d'un endroit à un autre et évolue en fonction du temps.

En effet, suivant un tronçon de route, la composition et la densité du trafic changent. L'action dynamique provoquée par le trafic routier dépend de nombreuses variables liées aux flux de trafic, au profil de la chaussée et au pont.

Afin de simplifier l'analyse de l'ouvrage, ces actions dynamiques sont remplacées par des actions statiques équivalentes. Ces dernières sont constituées par un modèle de charge statique dont la valeur représentative est majorée par un facteur d'amplification dynamique. Cette manière de considérer l'action dynamique du trafic est proposée dans la plupart des normes de dimensionnement à travers le monde.

I.1.1.2 Action climatique

Les principales actions climatiques affectant les ponts sont la température et le vent. La neige ne concerne que des ouvrages couverts en site montagneux. L'action de la température sur les matériaux est généralement bien connue. Lorsque la température est élevée, elle est, par exemple, une des causes de la fissuration du béton en cours de durcissement du fait de son séchage naturel (fissuration due au retrait de dessiccation). À l'opposé, un bétonnage par temps froid, sans précautions particulières, engendre un risque de gel de l'eau du béton qui le détériore par expansion. Ce risque doit être distingué des

dégradations produises sur le béton durci, les cycles de gel et dégel. Enfin, la forte augmentation de la vitesse d'hydratation du ciment crée des écarts de température entre le cœur des pièces coulées et leur surface, et accroît le risque de fissuration lors du refroidissement. En ce qui concerne le vent, son action sur les structures se manifeste de nombreuses manières: cela va de l'effet de dessiccation du béton frais en surface à la pression dynamique appliquée aux structures et à leur mise en mouvement éventuelle, pouvant provoquer des phénomènes de flottement ou de galop dans le cas de structures souples (ponts à câbles).

I.1.1.3 Actions accidentelles

1- Séismes :







La situation géographique de l'Algérie, fait que plusieurs régions de notre pays peuvent être qualifiées de zones sismiquement actives. La dernière sollicitation sismique, qu'a connue la région de BOUMERDES en 2003 de magnitude 6.8 est l'ultime preuve.

Elle a provoqué la discussion sur le dimensionnement des ouvrages d'art en tenant compte du risque sismique afin d'éviter les effondrements catastrophiques et limiter les degrés d'endommagement. En effet, le 1er règlement parasismique des ouvrages d'art Algérien a été élaboré en 2006. Pour la prise en compte du risque séismique, les ponts sont classés selon leur importance en trois groupes :

- Groupe 1: ponts stratégiques qui doivent rester circulables après le séisme tel que acheminement des secours, itinéraires de desserte d'installations stratégiques.
- Groupe 2: ponts importants qui franchissent au moins une des voies terrestres ci-après :
 - ✓ Autoroutes, routes expresses et des voies à grande circulation ;
 - ✓ Liaisons assurant la continuité du réseau autoroutier ;
 - ✓ Grandes liaisons d'aménagement du territoire ;
 - ✓ Les ponts situés dans les emprises des ports commerciaux maritimes ;
 - ✓ Les ponts sur itinéraire de desserte des installations de grande importance
(Groupe 1B du RPA 99/2003) ;
- Groupe 3: ponts d'importance moyenne non classés en groupe 1 et 2.

Les effets du séisme sur les ouvrages peuvent se manifester d'une façon directe et indirecte, Voir tableau ci-dessous :

LES DOMMAGES DIRECTS

<p>Affaissement des chaussées par rapport à la sortie du pont.</p>  <p>A</p>	<p>Ouverture des joints de chaussées.</p>  <p>B</p>  <p>C</p>	<p>Endommagement des bloqueurs de déplacement latéraux.</p>  <p>D</p>	<p>Déplacement et translations des poutres de tablier</p>  <p>E</p>	<p>Endommagement des appareils d'appuis.</p>  <p>F</p>
---	---	--	--	---

LES DOMMAGES INDIRECTS

<p>La liquéfaction des sables (perte de la capacité portante des sables gorgés d'eau qui provoque le basculement et l'enfoncement des constructions).</p>	<p>Le glissement de terrain : sur les versants, le glissement provoqué par les séismes ne sont pas rares et entraînent la perte totale des ouvrages concernés.</p>	<p>Les éboulements rocheux : ils sont fréquents dans les régions montagneuses. Les constructions peuvent alors être partiellement ou totalement détruites. Ce danger ne peut être apprécié que par un spécialiste.</p>
---	--	--

Tableau I.1 : Les dommages induits par le séisme

2- Action mécanique de l'eau :

L'action mécanique de l'eau sur les structures se manifeste à travers les phénomènes d'affouillement et d'abrasion. Dans le passé, l'affouillement des rivières autour des piles fut, avec les guerres, la principale cause de destruction des ponts. De nos jours, les techniques d'exécution de fondations profondes sont parfaitement maîtrisées par les entreprises spécialisées et les conséquences accidentelles d'affouillements ne sont plus à craindre pour les ouvrages neufs correctement fondés. Elles le sont, par contre, toujours pour les ouvrages anciens ou même récents lorsque leurs fondations manquent de robustesse.

3- Choc des véhicules :

Le choc des véhicules contre un ouvrage représente un danger considérablement fréquent dont les plus souvent sont ceux des poids lourds hors gabarit contre l'intrados des ponts et particulièrement lorsque ce dernier concerne une ligne à grande ou à très grande vitesse.

Les ondes de choc endommagent les éléments du béton qui sont épaufrés et laissent généralement à nu le cadre d'armatures, les cassures sont fraîches et non altérées, les armatures ne sont pas corrodées, en plus, les épaufrures résultant sont profondes et elles n'ont pas l'aspect d'un écaillage, de plus, l'ouvrage est généralement soumis à des impacts (quais ou pont) ce qui fait qu'un tel dommage est immédiatement suspect.

4- Incendie :

L'action du feu sur les ouvrages d'art présente une probabilité absolue comparable à celle des chocs de véhicules lourds sur les piles ou les tabliers, en effet on dénombre près d'une centaine d'incendies majeurs de poids lourd par an sur le réseau autoroutier qui endommagent le béton dès que sa température atteint 200°C ; les armatures de précontrainte sont sensibles dès 175°C, tandis que les armatures à haute adhérence résistent jusqu'à 350- 450°C.

I.2.2 Origine de la dégradation

I.2.2.1 Les altérations du béton

Les structures en béton vieillissent. Ce matériau subit de nombreuses agressions physiques, physico-chimiques et chimiques dont l'intensité est liée à la cinétique de pénétration de l'eau et des gaz. Cette dernière est en fonction de la structure, de la porosité, et de la perméabilité du béton.

1- Dégradation d'origine physique ou mécanique :

- **Cycle de gel-dégel:** ces dégradations affectent principalement les parties non protégées par un revêtement étanche et sont amplifiées par l'utilisation de sels anti-verglas. Les symptômes les plus courants sont l'écaillage de surface et le gonflement de tout ou d'une partie de la structure accompagnée le plus souvent d'une fissuration en réseau. Voir la figure ci-dessous :

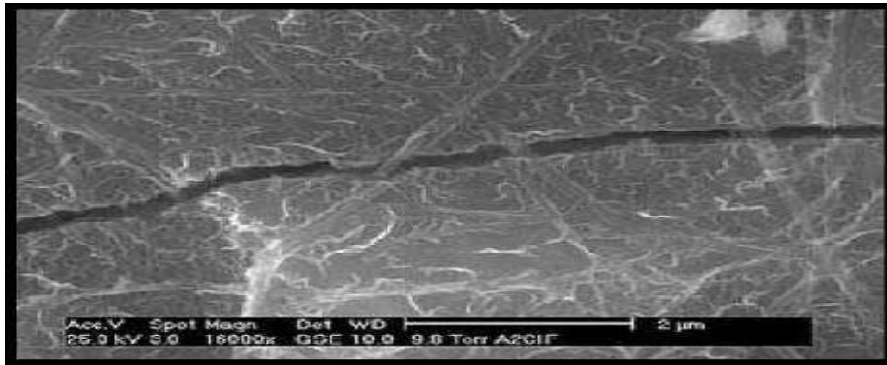


Figure 1.1 : Photo réalisée par le MEB d'une fissure interne causée par Gel-Dégel

- **Phénomènes d'abrasion et d'érosion:** concerne principalement les piles de ponts en maçonnerie soumises à l'action du courant ou qui subissent des chocs de corps flottants.
- ❖ L'abrasion: c'est l'usure de la surface par suite de frottements répétés et des tempêtes dans les zones dessertes qui peuvent conduire à l'abrasion des matériaux.



Figure I.2 : Abrasion visible sur les fondations du pont

- ❖ L'érosion : les ouvrages en site fluvial ou maritime sont sujets à l'érosion due au charriage d'éléments solides soit, du fait d'un fort courant ou sous l'action des vagues pour les ouvrages côtiers.



Figure I.3 : Fissures polygonales et zones d'érosion par abrasion

2- Dégradations d'origine physico-chimique :





- ❖ Le ressuage : lors de son séchage, le béton se tasse et une pellicule d'eau vient se former à sa surface. Les gros granulats ou les armatures peuvent faire office d'obstacle à ce tassement et ainsi fissurer le béton avant sa prise complète.
- ❖ Le retrait : il en existe de différents types et à divers stades de la vie du béton, mais tous mènent au même résultat, une réduction du volume du béton par réaction chimique. Ce phénomène, s'il est empêché par frottement, mènera inévitablement à des fissures. Un béton composé avec beaucoup de ciment aura plus tendance à se retirer, donc il faudra faire attention à la formulation.
- ❖ Les conditions de mise en œuvre: un béton contenant une quantité d'eau trop importante perdra énormément en résistance et donc sera sujet à une fissuration plus importante.



Figure I.4 : Effet du Ressuage du béton

3- Dégradations d'origine chimique :

Tableau I.2 : Dégradations d'origine chimique

Type	Caractéristique	Risques	Image
Alcali-réaction	La silice de certains granulats réagit avec le ciment (composé alcalin) formant un gel qui gonfle le béton et le fait éclater.	Apparitions de Réseaux de fissures profondes qui entraînent des désordres structurels dans les années qui suivent.	
Carbonatation	La portlandite du ciment réagit petit à petit avec le CO2 de l'air. Cette réaction réduit donc le pH du béton de 13 à 9. Lorsque le front de carbonatation atteint les armatures, elles corrodent les armatures qui gonflent et éclatent le béton	De gros désordres structurels se présentent. Les aciers perdent beaucoup en résistance et le béton risque de rompre.	
Attaque Des ions chlorures	Les ions chlorures (présents dans l'eau de mer, l'eau des piscines, certains sols et certains granulats) peuvent pénétrer par les fissures ou le réseau poreux du béton pour aller corroder les aciers.	Fissuration du béton. Réduction de la section des aciers résistants. Eclatement local du béton. Apparition de rouille à la surface du béton sous forme de taches non esthétiques.	
Réaction Sulfatique Interne (RSI)	En cas de fortes températures (65 °C et plus) au cœur du béton au jeune âge, le béton refroidit lentement et la formation d'ettringite (minéral composé de soufre, calcium et d'aluminium qui permet de réguler la prise du ciment) est alors retardée. En contact avec des sulfates (venant de l'eau de mer, du sol ou d'engrais), de l'ettringite expansive se forme alors entraînant un faïençage profond du béton.	Semblables aux risques de l'alcali-réaction	

I .2.2.2 La corrosion de l'acier

La corrosion de l'acier vient généralement sous l'effet d'agents atmosphériques ou de réactifs chimiques, mais il existe d'autres facteurs. Ces derniers peuvent dépendre du métal lui-même qui se répartit en facteurs métallurgiques et en facteurs liés aux conditions d'utilisation. Les facteurs dépendant du réactif peuvent essentiellement être affectés par sa nature, sa concentration, son PH, la teneur en oxygène, la présence d'impuretés...etc.

1- La corrosion atmosphérique :

Dans les structures métalliques laissées sans protection spéciale à l'air libre, l'acier se couvre d'une couche d'oxydes constituant ce qu'on appelle la rouille. Cette rouille possède un volume très supérieur à celui de l'acier dont elle est issue.

2- Corrosion des armatures dans les structures en béton armé :

La corrosion des armatures passives dans un ouvrage en béton armé provoque :

- Un éclatement du béton résultant de l'important gonflement de l'acier lors de son passage à l'état rouille ;
- La diminution de la résistance à la fatigue et de la ductilité des armatures.



Corrosion atmosphérique des ouvrages métalliques



Corrosion des armatures dans les structures en béton armé

Figure I.5 : Corrosion des armatures

I.2.3 Les Dégradations

I.2.3.1 Les Fissures

En général, une fissure est considérée comme une discontinuité dans le champ de déplacement à travers laquelle les contraintes de traction sont nulles ou diminuent en fonction de l'ouverture de cette même fissure. La fissuration peut se produire par compression, traction, cisaillement, aussi bien sous chargement statique qu'en fatigue, sous l'effet des charges permanentes ou des surcharges ou lors du déplacement des charges.

Il est possible de classer les fissures selon leur morphologie, ce type de classement fait appel uniquement aux apparences :

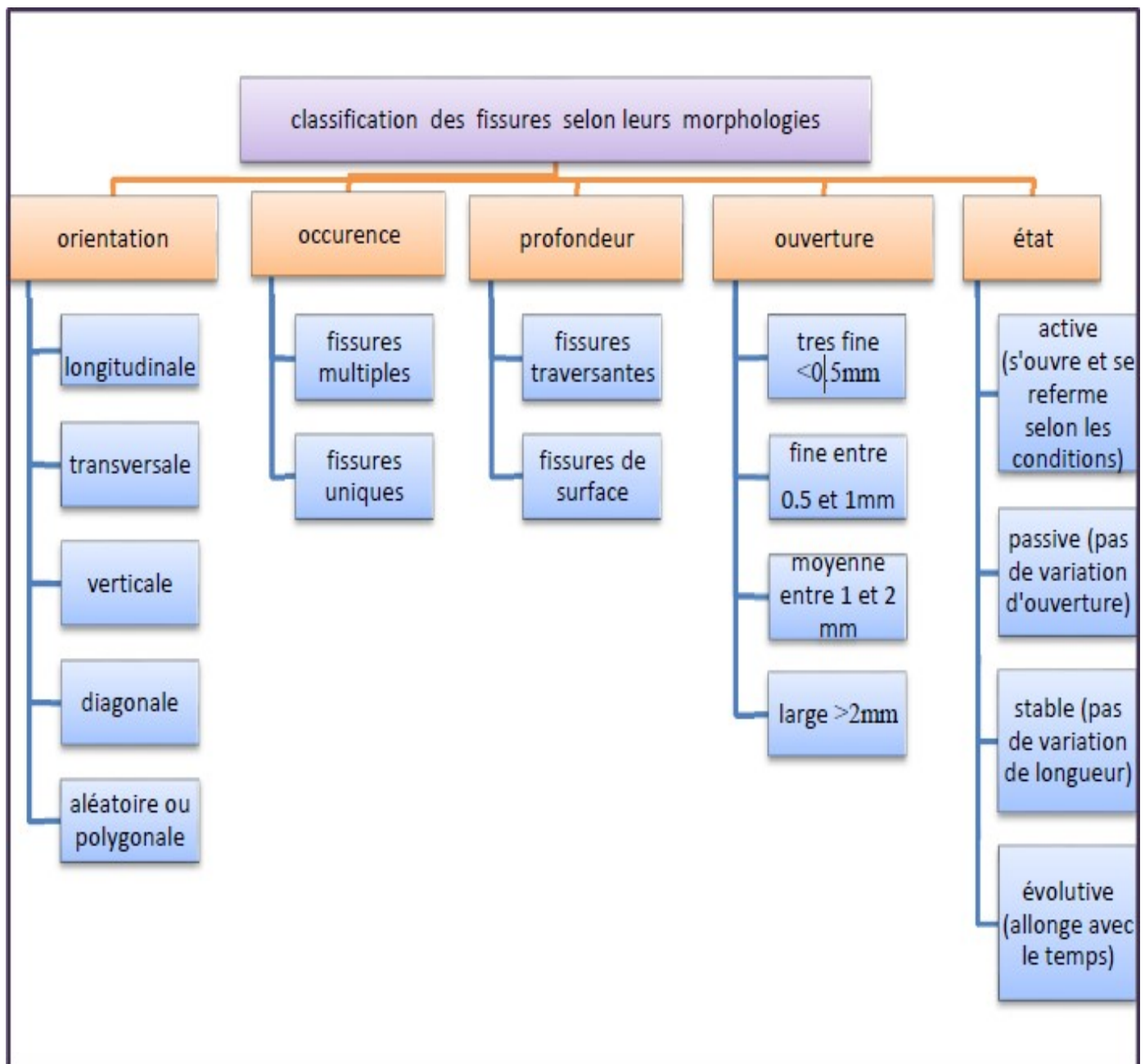


Figure I.6 : Organigramme de classification des fissures selon leurs morphologies

I.2.3.2 Les différentes causes de fissurations

Plusieurs phénomènes ou mécanismes agissant simultanément ou séquentiellement peuvent causer l'apparition des fissures, le tableau suivant nous illustre ces principales causes :

Tableau I.3 : Les différentes causes de fissuration

Fissuration	Types	Causes
Avant Durcissement	Physique	- gel prématuré - retrait plastique -ségrégation
	Mouvement durant la construction	-des coffrages du sol ou de la fondation
Après Durcissement	Physique	-contraction des agrégats -retrait de séchage
	Chimique	-corrosion de l'armature -réaction alcali-granulats -pénétration de corps étrangers (ions chlorure sulfates, dioxyde de carbone) -composition de ciment
	Thermique	-cycle de gel-dégel (variation saisonnière de température) -variation de condition d'humidité -retrait thermique : gradient de température interne
	Structurale	-surcharge accidentelle -surcharge de construction -pratiques de construction douteuse -fluage -erreur de conception (charge de calcul) -charge appliquée
	Accidentel	-tremblement de terre -feu

I.2.3.3 Les Autres dégradations

a) Efflorescence :

L'efflorescence est le résultat de l'hydrolyse des composants de la pâte de ciment dans le béton. L'efflorescence est indiquée par la présence des dépôts blancs sur le béton, le plus souvent sur le dessous des ponts et viaducs et indique que l'eau utilisée dans le processus de mélange de béton a été contaminée.



Figure I.7 : Efflorescence

b) Les épaufrures :

Défaut de surface généré par les ondes de choc ou les intempéries, elles correspondent à un éclatement du béton avec chute de fragment, laissant souvent les armatures apparentes elles sont généralement la suite logique d'un écaillage.



Figure I.8 : Les épaufrures

c) L'écaillage :

L'exposition à certains phénomènes climatiques comme le vent, un écoulement (ruissellement, suintement) peut provoquer la détérioration des parements de l'ouvrage. Cela se traduit par la disparition de la pâte de ciment. Des « nids de cailloux » apparaissent, laissant les granulats vulnérables aux agressions extérieures. De tels défauts dans les parements n'ont donc pas d'influence directe sur le comportement structurel de l'ouvrage.



Figure I.9 : Ecaillage du béton

d) Délamination :

L'air et l'eau en trappés sous le mortier de surface provoquent une délamination de la surface de la dalle de béton variant de quelques centimètres à quelques mètres carrés.

L'épaisseur de délamination de la dalle peut varier de 3 à 5 mm. Elle est apparente lorsque le béton est durci et que la surface se détériore sous l'action de la circulation. Elle aboutie à la chute de plaques de béton et la création de trous dans le tablier de pont.



Figure I.10 : Délamination du béton

e) La ségrégation :

Phénomène de séparation des constituants d'un béton frais, qui peut être provoqué par un malaxage insuffisant ou par une vibration excessive.



Figure I.11 : Ségrégation des éléments de béton

f) Défauts de construction :

Cela inclut les questions de consolidation tels que les poches de roche, les vides en nid d'abeille, des trous de bugs, et des stries de sable qui peuvent résulter de vibrations incorrectes, mélange sec, sans super plastifiant, mélange trop mouillé, l'espacement des barres d'armatures incorrect ou mauvaise sélection des agrégats.



Figure I.12 : Défauts dû au mal exécution des travaux

Conclusion

Une connaissance aussi précise que possible des mécanismes de dégradation des matériaux, et perte de performance ou de comportement, sont dues à plusieurs facteurs qu'on ne peut pas maîtriser. Ainsi la notion de la structure parfaitement durable est une notion irréalisable. Cette vulnérabilité des structures nous exige le recours à une bonne technique de diagnostic et d'auscultation à travers le cycle de la vie de l'ouvrage.

A cet effet la compréhension des mécanismes de dégradation nécessite la maîtrise des méthodes de surveillance, de détection des causes et des pathologies. Ceci fera l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE II :
MÉTHODOLOGIE DE
DIAGNOSTIC DES
OUVRAGES D'ART

Chapitre II

Méthodologie de diagnostic des ouvrages d'art

Introduction

La première étape à franchir pour intervenir efficacement sur un ouvrage en béton consiste à déterminer les causes des dommages existants. Cette étape peut aussi être la plus importante du processus de réparation ou d'entretien. Car si, par exemple, le phénomène qui provoque la détérioration du béton de base n'est pas contrôlé, ou si son diagnostic est incorrect, il est fort probable que ce mécanisme de dégradation affecte aussi le béton de réparation. Une identification incorrecte de la source du problème se traduit alors par des interventions coûteuses, infructueuses et surtout récurrentes, ce qui n'est certainement pas intéressant du point de vue de la durabilité des travaux et des budgets, parfois limités, des gestionnaires.

Il est donc important en premier lieu de mettre en place une méthodologie de diagnostic afin de préciser convenablement dans un délai adéquat l'origine de ces endommagements et les opérations nécessaires d'entretien ou de remise en état. Ceci permettra d'aboutir à un diagnostic général de cet ouvrage qui va nous tenir à jour d'une connaissance suffisante de l'état de dégradation et par conséquent de faciliter le choix postérieur des actions et des matériaux requis lors de l'intervention sur la structure.

II.1 Pourquoi un diagnostic ?

Le diagnostic d'un ouvrage c'est l'ensemble des investigations nécessaires pour définir l'origine et l'étendue des désordres constatés, il permet de vérifier s'il satisfait aux conditions de sécurité et d'utilisation qui sont définies par la réglementation et par les besoins de son propriétaire ou usager. Le vieillissement d'un ouvrage est marqué par l'apparition de désordres spécifiques.

Dans le cadre d'un diagnostic, trois types de missions peuvent être réalisées :

- Sur un ouvrage sain : estimer, vérifier ou contrôler les caractéristiques de la construction, c'est notamment le cas des ouvrages à « caractère exceptionnel » (grand ponts...etc.) ou des structures innovantes dont il souhaite connaître le comportement en service ;
 - Sur un ouvrage supposé endommagé : détecter l'endommagement ;
 - Sur un ouvrage visiblement endommagé dont les désordres sont susceptibles ou non de s'aggraver ou de mettre en cause la sécurité : caractériser l'endommagement (gravité de l'endommagement, étendue spatiale...etc.).

II.3 Les données nécessaires pour le diagnostic d'un ouvrage

II.3.1 Les données de recensement

- Localisation du pont; caractéristiques géométriques de l'ouvrage; type d'ouvrage et matériaux utilisés dans sa construction ; année de construction du pont ;
- Importance historique du pont; importance de réseau dans lequel il se trouve
- Possibilité et la longueur de déviation en cas de nécessité;
- Charges admissibles ainsi que l'historique de réparation, si elle existe.

II.3.2 Les données d'évaluation

Les données permettant l'évaluation de l'endommagement d'un ouvrage sont nombreuses.

On peut alors classer les informations recherchées en trois catégories selon leur nature ou leur origine :

- Caractéristiques de l'ouvrage: mesure de l'épaisseur du béton, mesure de l'enrobage des barres d'armatures dans un béton armé, positionnement et dimensionnement du ferrailage passif/actif, localisation des joints de coulées ...etc.
- Caractéristiques du matériau: caractérisation de la composition, évaluation de l'ensemble des caractéristiques mécaniques et physiques des matériaux.
- Caractéristiques pathologiques: détection et localisation des parties d'un ouvrage atteintes d'alcali-réaction, ou contaminées par des chlorures, de vides ou d'hétérogénéités (fissures, microfissures, nids d'abeille)...etc.

II.3.3 Les données décrivant le niveau de service rendu

S'obtiennent en comparant le niveau de service, effectivement offert par le pont, avec le niveau de service actuellement requis par rapport à un nouveau pont que l'on construisait sur le même réseau ou pour une nouvelle condition du trafic. A cet effet, nous pouvons conclure que ces données permettant l'évaluation de l'état de gravité des ouvrages et le type d'insuffisance sont soit :

- L'insuffisance structurelle ce qui signifie que le pont n'a plus sa résistance mécanique originelle, à cause de sa dégradation; il ne peut donc plus supporter sans risques le trafic pour lequel il a été conçu. En conséquence, il doit être limité en charge, ou en vitesse, ou en nombre de voies de circulation, voire fermé complètement au trafic.

- L'insuffisance fonctionnelle signifie que la conception originelle du pont l'a rendu inadapté aux nouvelles conditions du trafic, à cause, par exemple, d'une insuffisance des charges admissibles, ou du gabarit, ou de la largeur utile.

II.3.4 Les types de diagnostic

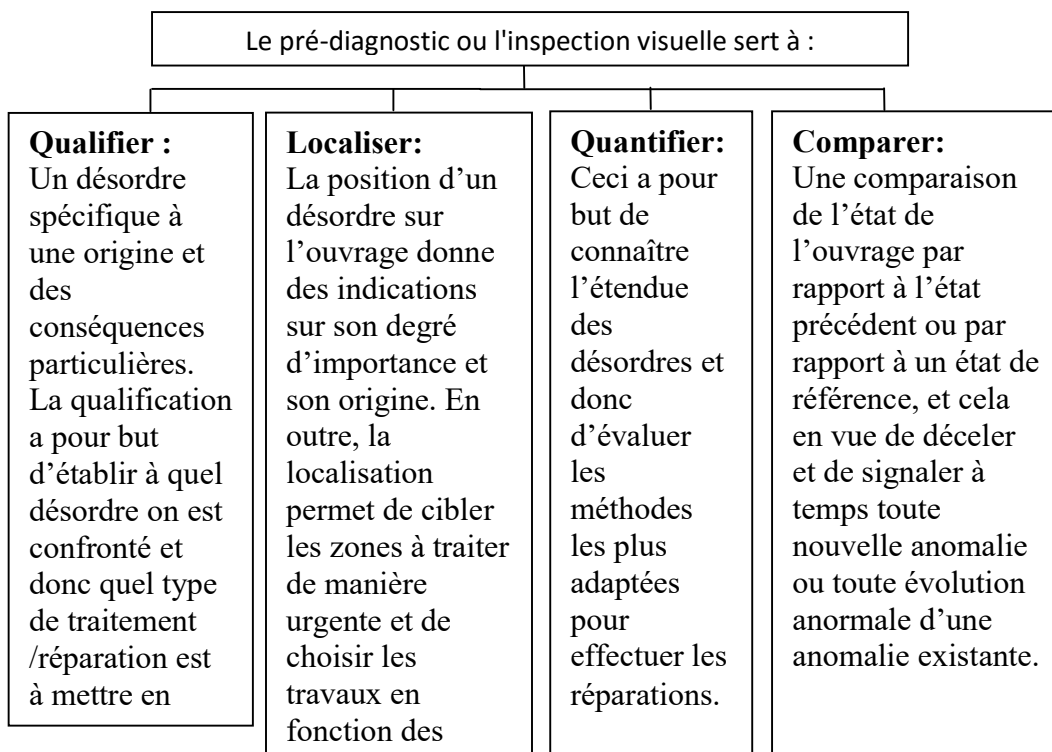
Tout au long de sa vie, l'ouvrage devrait être soumis à des inspections, de plusieurs types ou niveaux, afin de connaître son état et pour se faire on procède de la manière suivante :

II.3.4.1 le pré-diagnostic

Appelé aussi l'inspection visuelle ou préliminaire, c'est l'analyse des archives et des sources principales d'informations relevées pendant les inspections principales. Elles fournissent des informations de base suffisantes pour qu'un avis préliminaire soit présenté vis-à-vis des conditions de l'élément dégradé. Plusieurs méthodes de classification basées sur les caractéristiques de ces désordres sont disponibles dans la littérature, exemples :

- La méthode Image de la Qualité des Ouvrage d'Art (IQOA) 1995.
- La méthode de classification proposée par l'ACI, 1993.
- La méthode de *Kubo-Katayama développée au Japon*

Figure II.1 : Organigramme d'une inspection visuelle



II.3.4.2 Inspection détaillée

Ces inspections sont réalisées selon l'état de la structure :

- tous les ans pour les ouvrages dont l'état est alarmant,
- tous les trois ans pour les ouvrages sensibles,
- tous les six ans pour les ouvrages normaux et enfin tous les neufs ans pour les ouvrages robustes.

Elle est réalisée par un organisme spécialisé en employant tous les moyens d'accès nécessaires pour accéder aux différentes parties et éléments de l'ouvrage, ainsi que l'outillage adéquat de maître d'ouvrages, à savoir :

- Nacelles,
- Échafaudages,
- Matériel élévateur,
- Barques,
- Équipements de plongée,
- Aides visuelles,
- Marteau,
- Fil à plomb

Cette visite sera sanctionnée par un procès-verbal ou rapport de visite dans lequel apparaîtront en détail tous les renseignements et résultats de la visite (appuyés par des prises de vues), ainsi qu'une évaluation précise de l'état de l'ouvrage.

Les inspections détaillées peuvent être faites par (voir le tableau ci-dessous) :

Tableau II.1 : Types d'inspection détaillée

Types d'inspection	Correspondance
Une visite annuelle	-Pour certains ouvrages comportant des dégradations ou désordres particuliers et pour les ouvrages relativement anciens, avant de les programmer pour l'entretien ou la réparation.
Une auscultation approfondie	-Des éléments ou parties d'ouvrage, ou de tout l'ouvrage. Des investigations sont menées au moyen d'appareillages spécifiques pour apprécier la qualité et les caractéristiques des matériaux en place, le comportement de l'élément ou de la structure en service, évaluer les efforts et contraintes.
Une surveillance renforcée	-Lorsque l'auscultation ne permet pas de répondre à certaines questions qui se posent sur l'état de l'ouvrage, ou lorsqu'il y a possibilité de remplacement de l'auscultation, on recourt au suivi de l'évolution de certaines dégradations par des examens fréquents et des mesures périodiques, pendant une certaine durée (une année au minimum).
Une haute surveillance	-Est une mesure d'exception, destinée à surveiller l'apparition ou à suivre l'évolution d'un état considéré comme dangereux et à permettre de prendre en temps utile toutes les dispositions nécessaires pour maintenir la sécurité. L'objectif fondamental de la haute surveillance est d'assurer une sécurité permanente, compte tenu de l'utilisation qui sera faite de l'ouvrage avant réparation. Un deuxième objectif est de suivre l'évolution réelle des désordres, pour qu'il puisse en être tenu compte dans le projet de réparation.
Inspection des dommages	-Dans le cas de l'endommagement d'un pont, une inspection des dommages est généralement appelée à évaluer la gravité des dégâts et de déterminer la nécessité de restrictions de charge ou de fermeture complète. Le niveau et le détail d'inspection dans ce cas dépend de la gravité et l'étendue des dégâts. Si les dommages significatifs sont trouvés, l'inspecteur peut généralement s'attendre à faire des mesures détaillées des éléments endommagés (par exemple le niveau de perte de la section). Il est évidemment souhaitable que l'inspecteur ait la capacité de faire des calculs d'ingénierie dans le domaine spécifié lié à la nécessité de restriction de charge ou de fermeture.
Inspections détaillées particulières	- Elles sont effectuées en dehors du programme d'inspections périodiques (primaires et détaillées). Elles sont déclenchées par l'administration : <ul style="list-style-type: none"> • Suite à des circonstances anormales : Crues, glissement de terrain, passage de convois exceptionnels, défaillance imprévue, désordre occasionné par choc, séisme, ...etc. • A l'occasion de la mise en service d'un ouvrage neuf ou d'un ouvrage ayant subi des travaux de confortement ou de réhabilitation. En vue de réévaluation de la portance vis-à-vis de nouvelles réglementations.

II.4 Les opérations de diagnostic sur les parties de l'ouvrage d'art

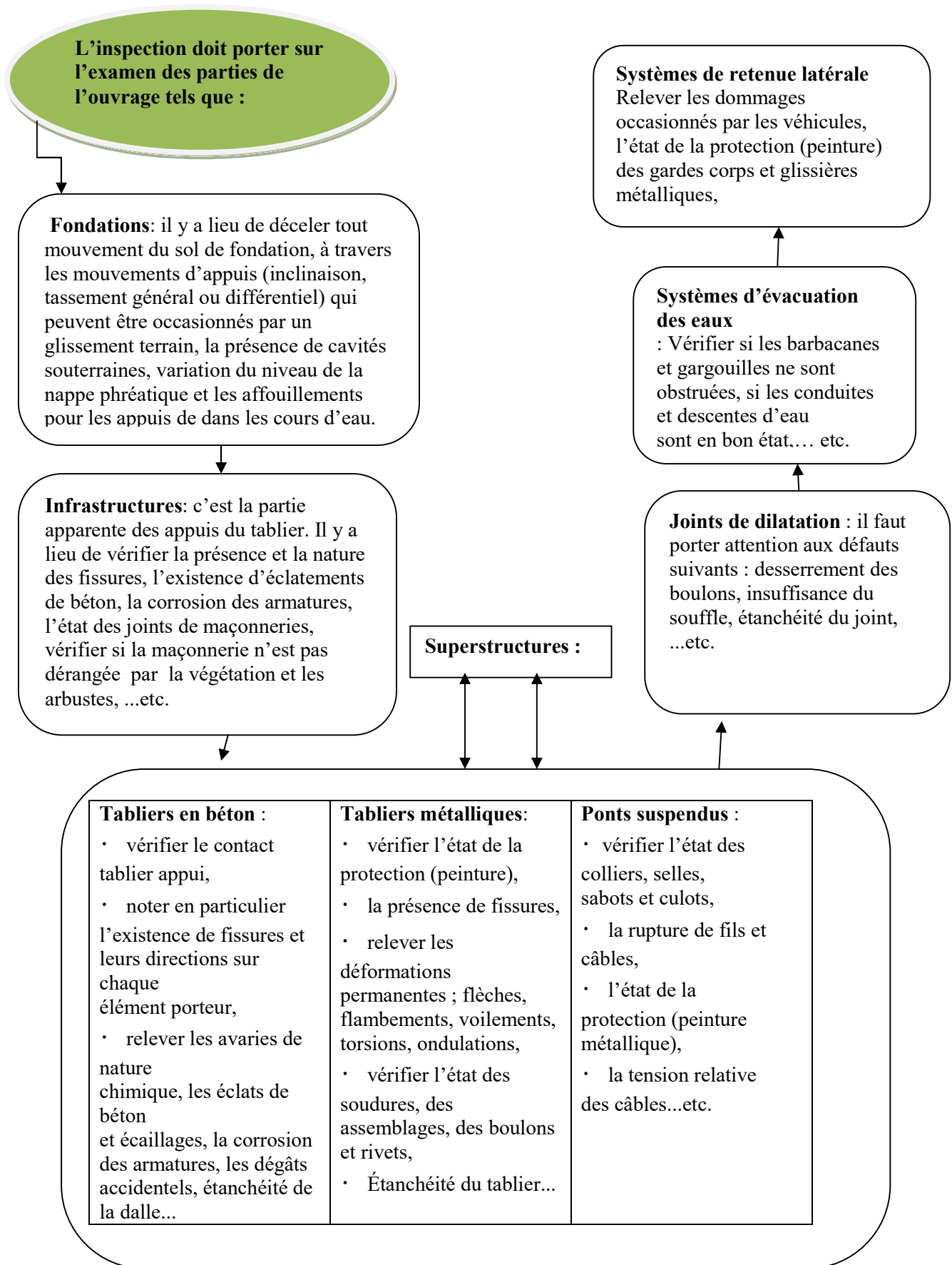


Figure II.2 : Organigramme de diagnostic d'élément de l'ouvrage

II.5 L'auscultation du pont

L'auscultation est un ensemble d'examen et de mesures spécifiques faisant le plus souvent appel à des techniques élaborées, et qui visent à mieux connaître l'état réel d'un ouvrage pour aboutir à un diagnostic de sa pathologie. On peut ainsi considérer que l'auscultation englobe l'instrumentation et la mise en œuvre d'essais, qu'ils soient destructifs ou non. Certaines méthodes d'auscultation voir (Annexe 1) peuvent être utilisées avec une fréquence plus ou moins régulière pour effectuer un suivi du comportement d'une structure au cours du temps ; cette activité entre dans le cadre de la surveillance renforcée ou de la haute surveillance.

L'auscultation est également un outil de pronostic de l'évolution de l'ouvrage et d'estimation de sa durée de vie. Ce pronostic fait appel à des modèles de vieillissement dont les paramètres peuvent être évalués par des mesures et affinés au fur et à mesure du suivi de l'ouvrage.

II.5.1 Choix des méthodes d'essai pour l'auscultation d'un ouvrage

La Sélection détaillée des méthodes d'essai sera basée sur une connaissance des objectifs visés, couplée à une connaissance de limitations d'accès pratiquement obtenus à partir de la visite préliminaire du site. Les considérations importantes dans le choix des méthodes sont les suivantes:

- La disponibilité et la fiabilité des étalonnages, qui peuvent être nécessaires pour relier les valeurs mesurées et les propriétés requises. Dans certains cas, il peut être nécessaire d'aller de l'examen visuel vers l'écrasement des carottes pour réaliser l'étalonnage ;
- L'effet des dommages, ce qui porte à la fois l'aspect de surface de l'organe à test et la probabilité de dégâts structurels causés par l'effet destructif de l'essai sur les sections d'ouvrages ;
- La précision des résultats, ce qui influence non seulement le choix de la méthode d'essai, mais aussi le nombre de points d'essais nécessaires pour obtenir des résultats significatifs.
- L'aspect économique, le coût d'examen, des retards doivent être soigneusement liés au coût probable d'un programme de test particulier. Le budget disponible peut également être une contrainte influençant le choix des méthodes et la richesse des essais possibles.

II.6 Interprétation et Analyse des résultats

Une fois les résultats d'une investigation recueillis, on doit les mettre en perspective en les reliant au problème étudié et à l'hypothèse formulée au départ: c'est l'étape de l'analyse des résultats. Cette analyse permet notamment de faire apparaître l'influence de certaines variables ou de certains facteurs sur le phénomène étudié. Il faut ensuite interpréter ces résultats, c'est-à-dire, faire le rapport entre l'analyse des données, la problématique et le champ d'investigation au sein duquel la recherche s'est développée. Interpréter les résultats, c'est en fait énoncer les conséquences théoriques et établir les avenues de recherche suggérées par les résultats.

II.6.1 Analyse des résultats

Analyser les résultats d'une recherche consiste à «faire parler» les données recueillies en vue de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse de recherche. Pour cela, il est important que le chercheur examine longuement et minutieusement ces données. Les données doivent être saisies et vérifiées avant de pouvoir être considérées comme fiables.

II.6.2 L'interprétation

L'interprétation est un processus continu à travers les étapes d'investigation qui va permettre l'utilisation la plus efficace des ressources sur le site, et conduire à la maximisation des valeurs des informations obtenues.

L'importance de l'interprétation est comprise entre les jugements qualitatifs concernant les caractéristiques observées pendant les relevés visuels à l'analyse détaillée, et l'évaluation statistique des résultats des tests numériques.

L'évaluation des résultats des inspections visuelles s'appuiera fortement sur les compétences et le jugement subjectif de l'ingénieur effectuant l'inspection.

II.7 Evaluation de l'ouvrage

L'évaluation de la performance d'une structure est un enjeu important qui se pose dès la construction de cette structure et reste présent tout au long de sa vie. C'est un processus de détermination de la suffisance d'une structure pour l'usage prévu, par l'analyse logique des informations et de données collectées auprès des documents existants, de l'inspection sur site, de l'étude de l'état, et des essais sur les matériaux.

Les types d'évaluation d'ouvrage :

Tableau II.2 : Différents types d'évaluation de l'ouvrage

TYPES	DEFINITIONS
Dimensions et géométries	Les dimensions réelles de la structure et de la disposition architecturale ainsi que les écarts entre les dimensions mesurées sur le terrain et celles indiquées sur les dessins disponibles devraient être effectivement évalués, à cet effet des opérations de sondages peuvent être appliquées pour réaliser les mesures.
Evaluation des matériaux	Les résultats des inspections visuelles sur le terrain ainsi que les essais de laboratoire doivent être étudiés pour comprendre d'une façon exacte l'état des matériaux dans la structure en terme de résistance, de qualité, de durabilité, et de l'usage prévu. Afin que les composants de la structure et les éléments structurels nécessitant la réparation et le remplacement total puissent être identifiés. Dans cette étape d'évaluation des recommandations concernant les matériaux de réparation peuvent être fournies.
Evaluation structurale	Évaluations structurelles doivent être effectuées pour déterminer la capacité de charge de tous les éléments structuraux et la structure dans son ensemble.
Evaluation de la cause	C'est de loin l'étape la plus difficile et la plus importante de toutes. Il n'est pas possible d'évaluer l'importance des réparations à faire ni de choisir les meilleures méthodes de réparation si la cause des dommages n'est pas connue. Ce qui ne signifie pas que la cause spécifique doit être décelée. En fait, surtout pour le béton, il est fréquent que l'on ne puisse pas l'identifier soit parce que les données pour trouver l'origine du mal sont insuffisantes, soit parce que plusieurs agents destructeurs agissent en même temps. On peut toutefois éliminer des possibilités jusqu'à ce qu'il n'en reste que quelques-unes et choisir alors une méthode de réparation qui améliore l'état présent et empêchera l'extension des dommages dus à tous les agents destructeurs dont on soupçonne l'action.
Evaluation des coûts	Une évaluation des coûts devrait être réalisée pour toutes les possibilités de réparation ou réhabilitation. Le coût de réhabilitation est soumis à de nombreux facteurs, mais le coût pour certains types de réparations structurelles ou des travaux de renforcement peuvent souvent être raisonnablement estimé sur la base d'expérience antérieure. Une telle estimation peut constituer la base d'une décision initiale concernant la solution appropriée pour être sélectionnée et la faisabilité économique d'ensemble du projet.

Conclusion

La détermination des causes des dégradations des structures est essentielle pour réussir les interventions en termes de qualité, durabilité et rentabilité. Le diagnostic des ouvrages est une étape primordiale dans l'opération du renforcement qui permet d'améliorer le choix des méthodes et des produits les plus aptes à combler les déficiences causées par l'endommagement sur l'ouvrage.

L'évaluation de l'état des ouvrages aux points de vue matériaux, états structurels et fonctionnels, ainsi que la détermination précise des causes qui engendrent les désordres dans les ouvrages d'art sont des opérations très compliquées car les désordres sont dans la plupart des cas difficiles à analyser et à évaluer car leurs origines peuvent être diverses et nous conduisent parfois à remonter jusqu'à la conception de l'ouvrage.

CHAPITRE III :
MÉTHODES
D'ÉVALUATION DES
OUVRAGES D'ARTS

Chapitre III

Méthodes d'évaluation des ouvrages d'arts

Introduction

Les ouvrages d'art sont des moyens très importants dans l'infrastructure routière et ferroviaire, dont le coût, les délais de leurs constructions et leur correction sont très élevés. Leur rupture et mise hors service suite à des tremblements de terre occasionne des pertes considérables. Dans le but d'évaluer le niveau d'endommagement possible que subirait le pont durant et après des secousses sismiques, des études de vulnérabilité sismique sont recommandées.

La classification des ouvrages qui sera présentée dans ce chapitre est basée sur deux méthodes ; la méthode dite « Image de Qualité des Ouvrages d'Art » (I.Q.O.A). qui est destinée à fournir un indicateur de l'état moyen des ouvrages et la méthode de Kubo-Katayama développée au Japon.

La méthode IQOA (Image de la qualité des ouvrages d'art) élaborée par l'organisme français SETRA (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes). Dans cette méthodes les méthodes sont caractérisées par cinq classes exprimant l'état de l'ouvrage et de ses équipements, plus une mention spéciale en cas d'urgence.

La méthode de <<Kubo-Katayama>> : a été développée par ces deux chercheurs japonais. nous avons choisi d'approfondir cette méthode parce qu'elle permet de déterminer un coefficient permettant de classification des ponts en fonction de leurs vulnérabilité sismique en tenant compte des caractéristiques du pont et du sol d'assise, ainsi que de l'aléa local.

III .1. Principe de la méthode IQOA

La procédure IQOA, 1995, présente des catalogues de désordres destinés à faciliter la cotation des ouvrages en application de la méthodologie (I.Q.O.A) .Chaque catalogue traite des principales dégradations qui peuvent atteindre des éléments structuraux spécifiques, tels que le tablier et les piles. La cotation d'un ouvrage résulte d'une analyse de son état, faite soit à partir du dossier de l'ouvrage si, celui-ci, contient un rapport d'inspection détaillée périodique faite dans l'année, soit à l'issue d'une visite sommaire réalisée conformément au guide de visite IQOA éditée séparément. La qualité des ouvrages est donc vérifiée selon les 6 classes d'état indiquées dans le paragraphe suivant.

III .2 Classification de l'état des ponts

L'état des ponts est caractérisé par le choix d'une classe d'état parmi cinq, complétée éventuellement d'une mention "S" au titre de la sécurité des usagers.

III .2.1 Classe d'état

Tableau III .1 : Classification des ouvrages selon la méthode IQOA

La classe 1	-Ouvrages en bon état apparent, relevant de l'entretien courant.
La classe 2	-Ouvrages dont la structure porteuse présente des défauts mineurs et qui nécessitent un entretien spécialisé sans caractère d'urgence. -Ouvrages dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts qui nécessitent un entretien spécialisé sans caractère d'urgence.
La classe 2E	-Ouvrages dont la structure porteuse présente des défauts mineurs et qui nécessitent un entretien spécialisé. -Ouvrages dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts qui nécessitent un entretien spécialisé. Contrairement à la classe 2, dans ce cas le caractère urgent est à signaler afin de prévenir le développement rapide des désordres dans la structure et son classement ultérieur dans la classe 3.L'indice "E" de la classe 2E a été choisi pour évoquer le caractère " évolutif " possible à brève échéance de l'état de la structure porteuse.
La classe 3	-Ouvrages dont la structure porteuse est altérée qui nécessite des travaux de réparation sans caractère d'urgence.
La classe 3U	-Ouvrages dont la structure porteuse est gravement altérée et qui nécessite des travaux de réparation en urgence liés à l'insuffisance de la capacité portante de l'ouvrage ou à la rapidité d'évolution des désordres pouvant y conduisant à brève échéance. ☐ Remarque : il y a lieu d'indiquer que seuls les défauts de structure sont justiciables d'un classement en 3 ou 3U.

III .2.2 Risque pour l'utilisateur : Mention "S"

Lorsque les défauts ou déficiences constatés sur l'ouvrage peuvent mettre en cause la sécurité des usagers et nécessitent de ce fait d'être traités de manière urgente, la mention "S" est attribuée à l'ouvrage en complément de l'une quelconque des cinq classes d'état définies précédemment. Cette cotation doit refléter un défaut d'une partie d'ouvrage existante ou disparue, et non pas une non-conformité à des règles de sécurité jugées insuffisantes.

III .2.3 Note d'évaluation globale

En conclusion, la note fixée à l'ouvrage est constituée de deux parties distinctes :

-la classe d'état choisie parmi 1, 2, 2E, 3, 3U et qui caractérise son état mécanique ou fonctionnel, par ordre croissant de gravité.

-la mention éventuelle "S" relative à l'urgence à entreprendre des travaux au regard de la sécurité des usagers, qu'ils concernent ou non la structure.

En principe, à chaque étape de regroupement des notes, la note globale à retenir est la plus défavorable des notations élémentaires, sans que ce principe doit être élevé au rang d'obligation.

La mention "S" affectée à un quelconque élément de l'ouvrage doit se retrouver dans la note d'évaluation globale.

III .3 Démarche d'évaluation de l'état des ponts

La démarche d'appréciation de la classe dans laquelle doit être rangé un pont est conduite selon le processus résumé dans l'organigramme de la figure suivante. Les éléments de décision font appel à un ensemble de notions et de termes portant sur les différentes parties des ponts à considérer et sur les natures d'intervention, dont les définitions sont données par la suite.

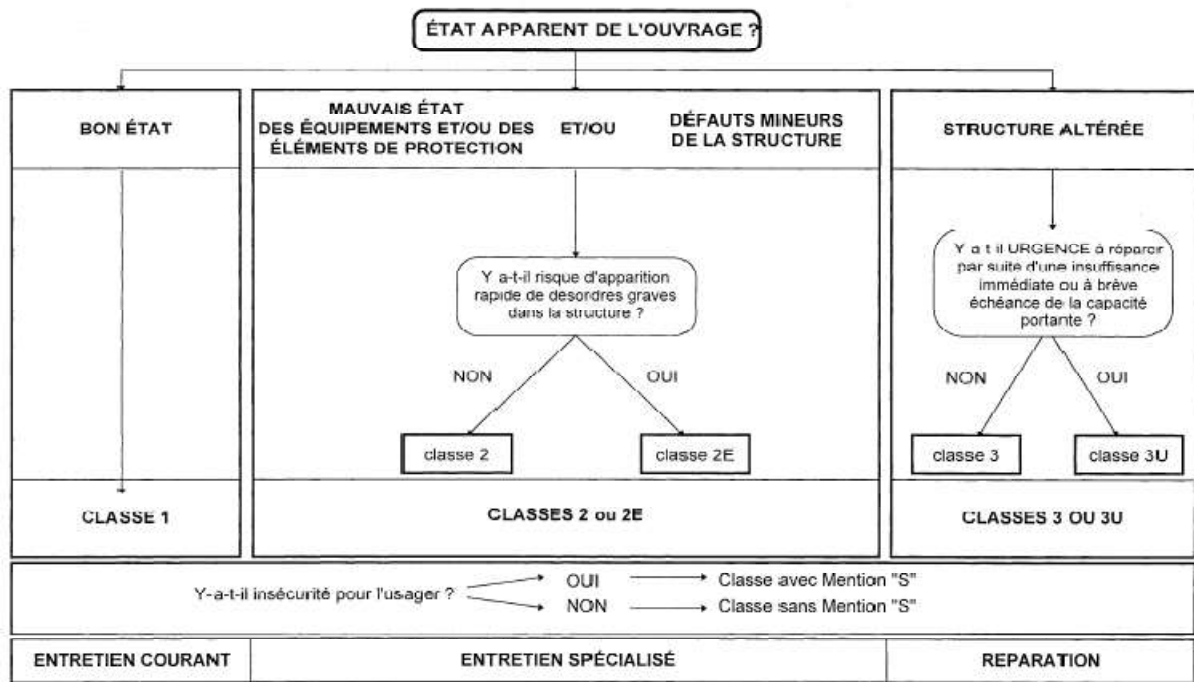


Figure III.1 : Organigramme de la méthodologie de classification des ponts

III. 4 Définition des parties constitutives d'un pont

Pour les besoins de la démarche d'évaluation proposée, il convient de distinguer trois parties constitutives dans un pont, qui sont la structure, les éléments de protection et les équipements.

III. 4.1 Structure

Ensemble des parties constitutives d'un pont qui reçoivent les charges et les transmettent au sol de fonction. Pour le pont le plus courant, la structure porteuse comprend un tablier, qui repose sur des appuis (culées, piles) et leurs fondations par l'intermédiaire d'appareils d'appuis. Dans le terme "Fondation", il faut inclure également le sol environnant qui participe à la tenue de celle-ci. Pour un pont cadre ou un portique, la structure comprend le cadre ou le portique lui-même et les murs en aile ou en retour suspendu ou non. Les appareils d'appui sont des organes faisant partie intégrante de la structure. Ils ne devraient pas être considérés comme des équipements.

III .4.2 Eléments de protection

Dispositifs annexes à l'ouvrage, destinés à le protéger contre les agressions physiques d'agents extérieurs tels que :

- Les affouillements par un cours d'eau des fondations,
- Les chocs sur les appuis de corps flottants ou bateaux,
- La corrosion des parties métalliques,
- La dégradation physico-chimique du béton, etc....

Ce sont notamment :

- La chape d'étanchéité
- Le revêtement de protection anticorrosion des surfaces métalliques (de la structure porteuse et de ses équipements),
- Les radiers et ouvrages para fouilles, les enrochements, les perrés,
- Les rideaux de palplanches, batardeaux, ducs d'Albe,
- Les portiques de dissuasion des véhicules hors gabarit.

III .4.3 Equipements

Dispositifs ajoutés à la structure porteuse et destinés à :

- Permettre l'utilisation de l'ouvrage par l'utilisateur dans des conditions de confort et de sécurité satisfaisantes,
- Faciliter sa surveillance et son entretien,
- Améliorer son esthétique.

Les équipements d'ouvrage les plus fréquemment rencontrés sont les suivants :

Équipement	Fonction		
	Confort et sécurité de l'utilisateur	Aspect esthétique	surveillance
Couche de roulement	X		
Trottoirs (rapportés), bordures, îlots de séparation des voies	X		
Parapets, garde-corps	X	X	
Glissières, barrières de sécurité	X		
Couverture du vide central entre deux ouvrages	X		
Corniches		X	
Dispositifs d'évaluation des eaux (caniveaux, avaloirs, gargouilles, descentes d'eau, barbacanes, corniche-caniveau, cunettes...)	X		
Joints de chaussée	X		
Dalles de transition	X		
Candélabres, potences et panneaux de signalisation, poste téléphonique, etc.	X		
Équipements de visite et d'entretien (trappes, portes, échelles, escaliers, nacelles, dispositifs de suivi, éclairage intérieur, etc).			X

III .5 Définitions des interventions sur un pont

III .5.1 Entretien courant

L'entretien courant comprend essentiellement :

- Le nettoyage des dispositifs d'écoulement des eaux: gargouilles, barbacanes, fossés, caniveaux, drains etc ... ;
- Le nettoyage de la chaussée et l'enlèvement des dépôts qui se créent sur ses rives;
- Le nettoyage des joints de chaussée, des joints de trottoirs et leurs équipements;
- Le nettoyage des trottoirs, notamment ceux comportant des dalles amovibles;
- Le nettoyage des sommiers d'appui, de l'intérieur du tablier, des dispositifs de mines éventuels;
- Le contrôle de l'état et le nettoyage des dispositifs de retenue (garde-corps, glissières, barrières) et des accès de visite (trappes, portes, échelles, nacelles);
- L'élimination de toute la végétation nuisible sur l'ensemble de l'ouvrage et à ses abords (perrés, talus);
- Le nettoyage des parements de tous graffitis et affiches;
- L'enlèvement de corps flottants à l'amont des piles;
- Le maintien en état de la signalisation relative à l'exploitation de l'ouvrage et située sur les voies adjacentes (limitation de gabarit ou de tonnage) ;
- Le contrôle de l'état de tous les équipements liés à l'usage de la voie portée ou de la brèche franchie, et supportés par l'ouvrage, tels que candélabres, bornes d'appel d'urgence, signalisation verticale, réseaux des concessionnaires ; en particulier le contrôle des dispositifs de fixation de ces équipements à l'ouvrage.

III .5.2 Entretien spécialisé

L'entretien spécialisé porte pour essentiel sur les équipements et les éléments de protection, et également sur les défauts mineurs de la structure. Il diffère de l'entretien courant par les moyens particuliers qu'il nécessite et par les techniques spéciales qu'il met en œuvre. Les opérations d'entretien spécialisé les plus fréquentes sont les suivantes :

- ❖ Opérations sur les défauts mineurs de la structure
- Protection des armatures très localement apparentes, ragréage ponctuel et peu profond des parements de béton très localement endommagés,
- Protection et réfection des cachetages d'ancrages des armatures de précontrainte,
- Remplacement isolé d'un rivet ou d'un boulon.

- Opérations sur les équipements et les éléments de protection
 - Réfection des dispositifs d'écoulements des eaux,
 - Mise en peinture des garde-corps et des éléments métalliques des équipements,
 - Réfection des bordures de trottoirs, des dalles sous trottoirs, des désordres locaux sur corniches,
 - Réfection de la chape d'étanchéité, de la couche de roulement, des revêtements de trottoir,
 - Suppression des rejets d'eau, protection des parements contre l'humidité des ruissellements,
 - Réfection ou création de dispositifs d'entretien et de visite,
 - Remise en peinture de l'ossature métallique,
 - Entretien des protections cathodiques des parties métalliques de l'ouvrage ou des armatures du béton,
 - Réfection ou mise en place d'éléments de protection.

III .5.3 Réparation

La portance ou le niveau de portance d'un ouvrage est sa capacité à supporter les charges nominales pour lesquelles il a été conçu et dimensionné. La réparation est l'opération menée sur la structure afin de garantir ou redonner à un ouvrage sa portance d'origine. Les opérations de réparation les plus fréquemment mises en œuvre sont :

- Pour la maçonnerie
 - Le rejointoiement,
 - La reconstitution de pierres altérées,
 - L'injection,
 - La reconstruction partielle,
 - La pose de tirants d'enserriments des tympans ou des murs en retour,
 - La réalisation d'une contre-voûte.
- Pour le béton
 - L'injection de fissures du béton,
 - La reconstitution de béton dégradé sur une profondeur importante ou une surface étendue,
 - L'adjonction d'armatures,
 - L'application d'une précontrainte additionnelle.

- Pour le métal
 - La réfection d'assemblages boulonnés ou rivés,
 - La reconstitution ou le remplacement de pièces d'un ouvrage métallique,
- Pour les fondations
 - La reprise de fondation en sous œuvre,
 - Le confortement de fondations par rideaux de palplanches métalliques, par injection du sol, et par bétonnage de cavités.
- Pour les appuis
 - Le changement des appareils d'appui.

III. 6 : la méthode de l'indice de vulnérabilité Iv (kubo-katayama)

Introduction

Cette méthode a été développée en se basant sur une analyse statistique des endommagements enregistrés sur des ponts suite aux séismes de Kanto (1923), Fukui(1948) et Niigata(1964) . Elle se base sur l'indice de vulnérabilité qui est un indicateur de l'état de la structure et qui peut être estimé avant comme après l'occurrence de l'événement sismique. Il nous permet de connaître l'état des ouvrages d'art d'une région et de les classer selon leur vulnérabilité, donc il offre la possibilité d'une mise à jour pratiquement continue de la qualité sismique des ponts d'une région.

Au niveau des structures, l'expérience a démontré que les dommages subis par les ponts et les viaducs les plus fréquemment observés sont : (i) la perte d'appuis des travées, (ii) la rupture des colonnes et des piles, (iii) la rupture des culées servant de murs de soutènement, et (iv) l'effondrement ou l'affaissement du remblai situé aux accès des ponts. Il est reconnu que la dissipation de l'énergie induite par les vibrations sismiques dépend des principaux éléments structuraux d'un pont, soient : le tablier, le système d'appuis, les piles, les culées et les fondations. Par ailleurs, la nature du sol et les effets de sites qui en résultent contribuent grandement à augmenter la vulnérabilité sismique des ouvrages.

Dans cette méthode, dont le principe est illustré dans l'organigramme ci-après Figure III .3, nous avons différents paramètres de type descriptif ou typologique, ou bien de type quantitatif, qui influent sur la vulnérabilité sismique des ponts. Chacun d'entre eux est divisé en catégories, et chaque catégorie a son propre facteur de pondération

Le produit des valeurs des facteurs de pondération de tous les paramètres représente l'indice de vulnérabilité d'un pont.

III. 6.1 Méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique

Dans le cadre de ce travail, nous avons utilisé la méthode Japonaise pour l'estimation de la vulnérabilité aux séismes des ponts à poutres isostatiques. La méthodologie adoptée se base sur l'approche développée par Kubo- Katayama (Kubo et Katayama, 1977), qui permet d'évaluer la vulnérabilité des ponts dont le mode de rupture prépondérant est induit par la chute des poutres et donc du tablier (Figure III 2).

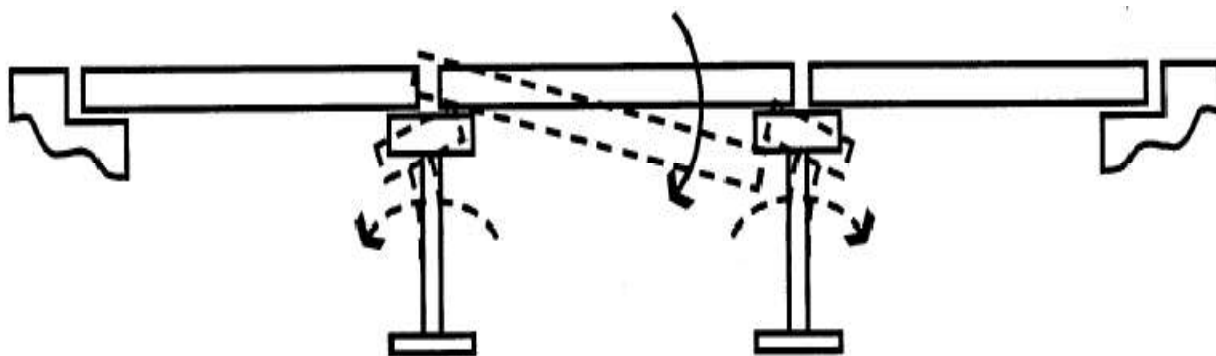


Figure III. 2. Chute des poutres de ponts isostatiques

Le choix de cette méthode se justifie par le fait qu'elle soit tout à fait applicable aux réseaux de ponts en Algérie dans la mesure où les typologies de ponts algériens [Abderrahmane Kibboua*, Mounir Naïli*, Djillali Benouar* « Méthode d'estimation de la vulnérabilité sismique des ponts à poutres isostatiques en béton armé ». * Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS) ** Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB) BP 32, El Alia 16111, Bab Ezzouar, Alger, Algérie] figurent parmi les typologies japonaises. Elle est utilisée comme premier niveau de décision (first screening) pour l'évaluation de la vulnérabilité des ponts. L'organigramme d'évaluation des dommages par cette méthode est illustré sur la Figure III. 3.

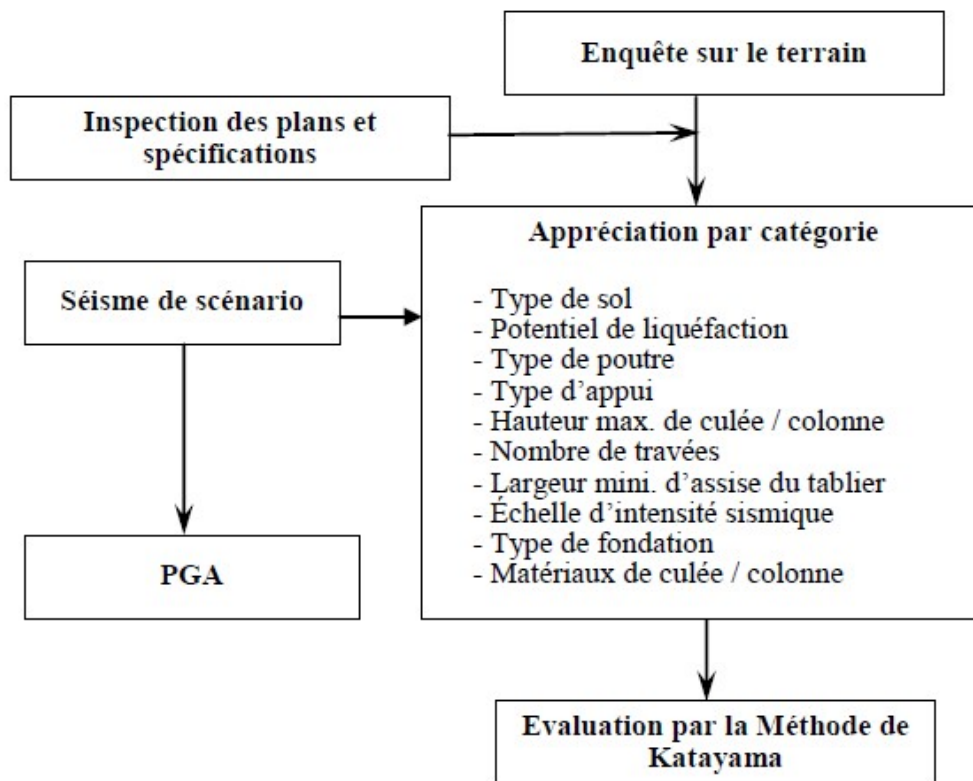


Figure III.3 : Organigramme de l'analyse de la vulnérabilité des ponts
(Méthode de Katayama)

Dans la méthode de Katayama, onze (11) rubriques susceptibles d'affecter la probabilité de chute des poutres, et par conséquent celle des tabliers sont examinées. Chaque rubrique consiste en un nombre de catégories sélectionnées, selon le cas du pont étudié et sans calcul fastidieux. Le tableau III .2 expose les critères d'appréciation de l'analyse de la vulnérabilité des ponts.

Tableau III .2 Appréciation de l'analyse de la vulnérabilité des ponts

Paramètres (Rubriques)	Classe (Catégories)	Coefficients de pondération (Appréciation par catégorie)
Type de sol	Dur: roche légèrement / non détériorée	0,5
	Moyen: roche détériorée / modérément détériorée	1,0
	Meuble: sol / diluvial sédimentaire	1,5
	Très meuble: sol / Alluvial sédimentaire	1,8
Potentiel de liquéfaction	Non liquéfiable	1,0
	Liquéfaction possible: $0 \leq < 15$	1,5
	PL	2,0
	Liquéfaction: $15 \leq PL$	
Type de poutre	Arc	1,0
	Continue	2,0
	Simple	3,0
Type d'appui	Avec dispositif spécifique (prévention contre la chute des poutres)	0,6
	Ordinaire (avec calcul et conception Claire)	1,0
	Deux appuis existent (pouvant agir en direction axiale	1,15
	Autres (sans support, etc.)	1,1
Système antisismique	Système de prévention contre chute des poutres	0,6
	Appui parasismique	0,9
Hauteur max. de culée/pile	Inférieure à 5 m	1,0
	5 à 10 m	1,35
	Supérieure à 10m	1,7
Nombre de travées	1 travée	1,0
	2 travées ou plus	1,75
Largeur min. de l'assise du tablier de pont	Largeur: 70 cm ou plus	0,8
	Étroite: Inférieure à 70 cm	1,2
	Sans assise: 0 cm	1,1
Échelle d'intensité sismique (MSK)	$MSK < 7,885$	1,0
	$7,885 \leq MSK < 8,680$	2,1
	$8,680 \leq MSK < 9,475$	2,4
	$9,475 \leq MSK < 10,270$	3,0
	$10,270 \leq MSK$	3,5
Type de fondation	Pieux	1,4
	Autres	1,0
Matériaux de la culée / pile	Béton non armé ou maçonnerie	1,4
	Béton armé ou autre	1,0

Le résultat peut être alors déterminé par substitution des données à l'équation suivante : (1)

$$I_v = \prod_{j=1}^N \times \prod_{k=1}^{M_j} X_{jk}^{\delta_i(jk)}$$

Où :

- I_v : seuil de degré de dommage du $i^{\text{ème}}$ pont ;
- N : nombre de toutes les rubriques ;
- M_j : nombre de catégories du $j^{\text{ème}}$ rubrique ;
- $\delta_i(jk)$: variable ($\delta_i(jk) = 1$; quand les caractéristiques du $i^{\text{ème}}$ pont correspondent à la catégorie K dans la rubrique, $\delta_i(jk) = 0$; autrement) ;
- X_{jk} : appréciation par catégorie ($k^{\text{ème}}$ catégorie du $j^{\text{ème}}$ rubrique) ;
- $\prod_{j=1}^N$:symbole de multiplication de 1 à la $N^{\text{ème}}$ valeur

La valeur du seuil pour l'estimation du degré de dommage des ponts est basée sur 30 échantillons de ponts endommagés observés suite à 3 séismes ayant dévasté le Japon (1923 Kanto, 1948 Fukui, 1964 Niigata). Dans cet article, le séisme de Boumerdes est pris comme référence vis-à-vis de la pathologie de chute des travées de tabliers, afin de calibrer les paramètres de pondération des différents seuils de dommage tel qu'illustré sur le Tableau III. 3.

Tableau III. 3. Définition des degrés de dommage des ponts (original-calibré).

Classe de degré de dommage		Valeur de seuil originale (Japon)	Valeur de seuil modifiée (Algérie)
A	- Probabilité élevée de chute du tablier - Déplacements permanents importants - Ouvrage à condamner et reconstruction requise	$I_v \geq 30$	$I_v \geq 30$
B	- Probabilité modérée de chute du tablier - Déplacements permanents moyens - Réouverture du pont à la circulation différée pour nécessité de réparation	$26 \leq I_v \leq 30$	$22 \leq I_v \leq 30$
C	- Probabilité faible de chute du tablier - Déplacements permanents faibles - Usage possible après inspection essentiellement	$I_v < 26$	$I_v < 22$

Conclusion

L'objectif de ce chapitre est de présenter le principe de deux méthodes d'évaluation des ponts qui seront utilisés dans les chapitres suivants pour l'évaluation de 9 ouvrages de la RN12.

CHAPITRE IV :
ÉVALUATION DE
QUELQUES PONTS DE
LA RN12

Chapitre IV

Evaluation de quelques ponts de la RN12

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'application des deux méthodes d'évaluation à quelques ouvrages de la RN12. Dans un premier temps l'évaluation se fera avec la méthode IQOA et par la suite l'évaluation se fera avec la méthode de Kubo-Katayama. Notre choix s'est porté sur neuf ouvrages situés sur la RN12.

IV.1 : Application de la méthode IQOA sur des ouvrages de la RN 12 et kubo-katayama

Notre choix s'est porté sur neuf ouvrages situés sur la RN12, nous avons les figures suivantes :

- Le 1^{er} Ouvrage : est situé sur le PK 44+300, qui est un pont cadre Voir (Figure IV.1), en béton armé de superstructure en dalle pleine et d'infrastructure en voile en BA, l'obstacle franchi est la rocade sud en passage supérieur.



Figure IV.1

- Le 2^{ème} Ouvrage : est situé sur le PK 44+700, réalisé en 1980 par la SAPTA, qui est un pont mixte Voir (Figure IV.2), de fondation en pieux forés, de superstructure en poutre métallique et dalle en BA, et d'infrastructure en BA, il franchit la RN12 de passage inférieur.



Figure IV.2

- Le 3^{ème} Ouvrage : est situé sur le PK 46+600 qui est un pont rail Voir (Figure IV.3) qui franchit la RN12.



Figure IV.3

- LE 4^{ème} Ouvrage : est situé sur le PK 46+850, qui est la trémie Centrale (trémie Gare Routière) Voir (Figure IV.4) réalisée en 2002 par ENGOA avec des fondations superficielles de superstructure en dalle en BA et d'infrastructure de mur de soutènement en BA.



Figure IV.4

- Le 5^{ème} Ouvrage : est situé sur le PK 9+290 qui est un pont poutre âme pleine Voir (Figure IV.5) qui franchit la RN12



Figure IV.5

- Le 6ème Ouvrage : est situé sur le PK **Pont à câbles PK30+300**
Voir (Figure IV.6) qui franchit la RN12



Figure IV.6

- Le 7ème Ouvrage : est situé sur le **PK 38+000** qui est un **Pont dalle**
Voir (Figure IV.7) qui franchit la RN12



Figure IV.7

- Le 8ème Ouvrage : est situé sur le PK **PK76+150** qui est un pont **Mixte**
Voir (Figure IV.8) qui franchit la RN12.



Figure IV.8

- Le 9^{ème} Ouvrage : est situé sur le **PK55+050** qui est un pont **Mixte** Voir (Figure IV.9) qui franchit la RN12



Figure IV.9

IV.2 : Evaluation par la méthode IQOA

Evaluation de l'ouvrage 1 :

Pont Cadre PK44+300										
Types d'élément		Désordres	Critères des classements	Classes					Mention « S »	
				1	2	2E	3	3U		
Equipements	Chaussée	L'érosion du béton bitumineux de la chaussée causée par le non respect du dévers pour évacuer les eaux pluviales ou le mauvais compactage de la chape du bitume. (Figure D1-P1)	-Cause une désorientation du véhicule lors de son passage. -La chaussée est exposée à une dégradation généralisée très rapide lors d'infiltration des eaux.		X					X
	Bordures trottoirs	Aucun défaut sous pont (Figure D2-P1)	En bon état	X						
	Dispositif de retenue	inexistants	Insécurité pour les piétons			X				X
	Corniches	Inexistantes (Figure D3-P1)	Manque d'esthétique pas d'effets sur la sécurité des usagers		X					
	Dispositifs d'évacuation des eaux	Inexistants	Cause une dégradation sur la Chaussée			X				
	Talus	Bon état apparent sauf problème de végétation. (figure D7-P1)	Dégradation et éclatement du talus par la végétation		X					
	Joints de chaussées et de Trottoirs	Inexistants	Sans effets puisque c'est un pont cadre	X						
	Accès	L'escalier est endommagé (figure D8-P1)	Escalier peu causer des dégâts matériels et humains si une inondation se produit			X				X
Eléments de protection	La chape d'étanchéité	Etanchéité mauvaise du moment que nous constatons des infiltrations au dessous de la dalle. (figure D4-P1)	Dégradation de la dalle en béton armé et probabilité de corrosion des armatures, et déformation de la chape du bitume		X					
	Le revêtement de protection anticorrosion des surfaces métalliques (de la structure porteuse et de ses équipements)	Pas de surface métallique		X						
	Les portiques de dissuasion des véhicules hors gabarit	Inexistants	Risque de collision des véhicules hors gabarit avec la dalle ce qui pourrai l'endommager		X					
Structure	Etat de la superstructure et l'infrastructure	Moyen, percement (trou causé par les infiltrations) localisé sur les joints de la dalle en béton Visibilité de tache due al 'infiltration des eaux sur les voile en béton armé (Figure D5-P1) (Figure D6-P1)	Peut causer avec le temps la saturation en eaux de la dalle et voile en béton armé et la corrosion totale des armatures de ces derniers.			X				

TABLEAUX DES FIGURES DES DEGRADATIONS :

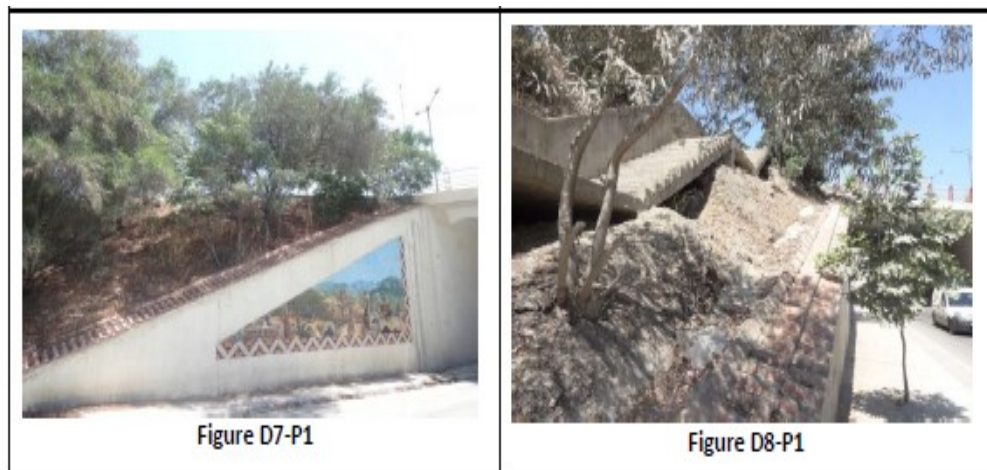
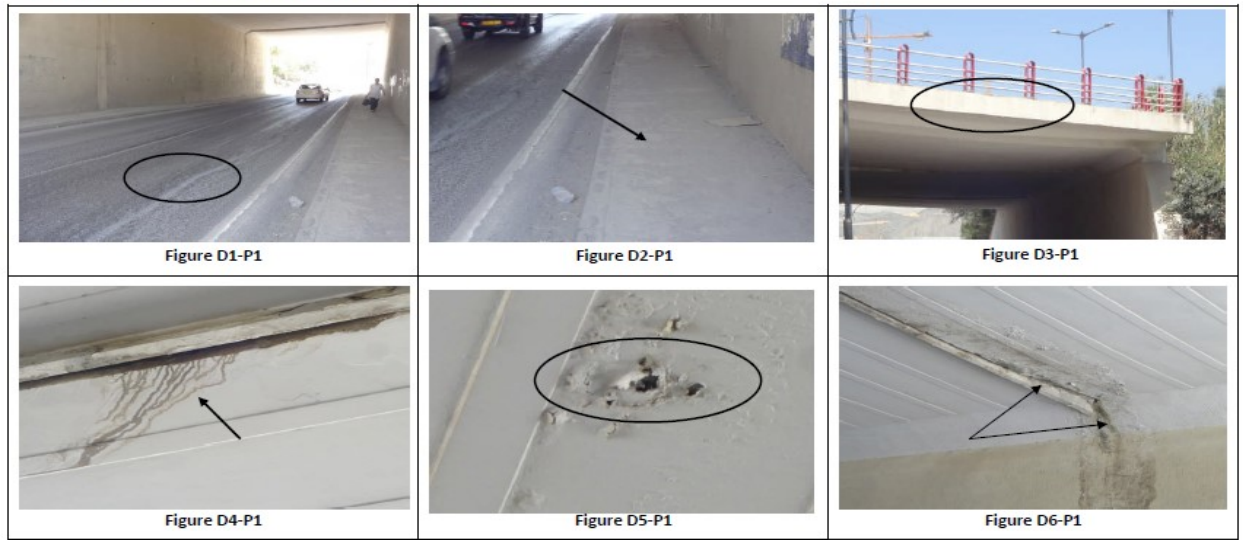


Tableau IV. 1 : Pont Cadre PK44+300

Evaluation de l'ouvrage 2 :

Pont Mixte PK44+700										
Types d'élément		Désordres	Critères des classements	Classes					Mention « S »	
				1	2	2E	3	3U		
Equipements	Chaussée	Dénivellation de la chaussée à proximité des joints de chaussée (Figure D1-P2)	Cause une stagnation des eaux et un mauvais drainage des matériaux granulaires sur cette zone ce qui va influencer a long terme sur les joints de chaussée.		X					X
	Bordures trottoirs	- trottoirs endommagés vu le mauvais nettoyage et mauvaise mise en état après un quelconque entretien. (Figure D2-P2) -Dalette de passage des fourreaux endommagées ce qui favorise l'accumulation de la terre et des gravats. -quelques bordures démolies (Figure D3-P2)	Danger sur les piétons et les usagers surtout la nuit. - Poussée de la végétation sur les trottoirs ce qui endommage le béton donc la dalle du pont et la chape d'étanchéité.			X				X
	Dispositif de retenue	Garde corps en moyen état un peu corrodé et sans réhabilitation de peinture. (Figure D4-P2) Manque de glissières de sécurité.	-Risque d'endommagement rapide des gardes corps. - risque de chute des véhicules en cas de sortie de la route.			X				
	Corniches	Existantes mais non entretenues (Figure D5-P2)	Manque d'esthétique, pas d'effets sur la sécurité des usagers.		X					
	Dispositifs d'évacuation des eaux	Gargouilles existantes mais non fonctionnelles car elles sont bouchées par la couche de roulement.	Cause une dégradation sur l'ensemble de la superstructure (dalle ; joint de chaussée ; trottoir...)			X				
	Talus	Bon état apparent sauf problème de végétation. (figure D12-P2)	Dégradation et éclatement du talus par la végétation		X					
	Joints de chaussées et de trottoirs	Les joints de chaussées existants non entretenus (plein de fines argileuse) et non continus sur les trottoirs (Figure D6-P2) , scellés avec du béton. (Figure D7-P2)	Dégradation rapide des joints de chaussée vue sa saturation en fine argileuse. Le mauvais fonctionnement du joint de chaussée vu que le béton n'est pas élastique autant que le béton bitumineux ce qui facilite l'endommagement de la couche de roulement. Infiltration des eaux dans la partie			X				

			du trottoir vers la poutre métallique et structure en béton.						
Eléments de protection	La chape d'étanchéité	Etanchéité mauvaise du moment que nous constatons des taches dues à l'infiltration des eaux sur toute la surface du tablier ainsi que sur le mur frontale de la culée. (Figure D8-P2)	Dégradation de la dalle en béton armé et probabilité de corrosion des armatures, et déformation de la chape du bitume.			X			X
	Le revêtement de protection anticorrosion des surfaces métalliques (de la structure porteuse et de ses équipements)	Les surfaces métalliques tels que les poutres et les gardes corps sont en bon état apparent mais sans entretien de revêtement anticorrosion. (Figure D9-P2)	Dégradation de la structure porteuse (poutre métallique).		X				
	Les portiques de dissuasion des véhicules hors gabarit	Inexistants	Risque de collision des véhicules hors gabarit avec la dalle ce qui pourrait l'endommager.		X				X
Structure	Etat de la superstructure et l'infrastructure	Moyen, vu le constat des infiltrations des eaux sur toute la dalle (tache blanche) (Figure D8-P2) et un début de corrosion des poutres métalliques (Figure D9-P2) Les pille et les culées sont en moyen état apparent vue les petites dégradations tels que les gravats sur le mur de front de la culée (Figure D10-P2) ...etc. Quant aux appareils d'appuis ils sont anciens et en mauvais état apparent (corrosion) (Figure D11-P2)	Peut causer avec le temps la saturation en eaux de la dalle et la corrosion totale des armatures de cette dernière. La corrosion totale des poutres métalliques et la dégradation de l'ensemble de l'ouvrage.				X		

TABLEAU DES FIGURES DES DEGRADATIONS :



Tableau IV.2 : Pont Mixte PK44+700

Evaluation de l'ouvrage 3 :

Pont Rail PK 46+600									
Types d'élément		Désordres	Critères des classements	Classes					Mention « S »
				1	2	2E	3	3U	
Equipements	Chaussée	Orniérage et faïençage de la chaussée sous le pont rail (Figure D1-P3)	-Cause une désorientation du véhicule lors de son passage. -La chaussée est exposée à une dégradation généralisée très rapide lors de d'infiltration des eaux		X				
	Bordures trottoirs	Aucun défaut apparent (Figure D2-P3)	En bon état.	X					
	Dispositif de retenue	En bon état (Figure D3-P3)	Sécurité des usagers.	X					
	Corniches	inexistantes	Manque d'esthétique pas d'effets sur la sécurité des usagers.	X					
	Dispositifs d'évacuation des eaux	N'apparaissent pas sur le pont, mais visibles sous le pont. (Figure D4-P3) Avaloir non entretenue (Figure D5-P3)	Dégradation de la superstructure avec le temps.			X			
	Joints de chaussées et de trottoirs	Inexistants							
	Talus	Bon état apparent Les barbacanes bouchées par les terres (Figure D6-P3)	Mauvais drainage des eaux derrière le mur ce qui pourrait causer un effondrement du mur			X			X
Eléments de protection	La chape d'étanchéité	Mauvaise étanchéité vu les taches d'infiltration des eaux sur la dalle. Défaut d'étanchéité au droit d'une réservation d'une gargouille (Figure D7-P3)	Dégradation du béton		X				
	Le revêtement de protection anticorrosion des surfaces métalliques (de la structure porteuse et de ses équipements)	Revêtement de protection existant (Figure D3-P3)	Bonne protection des dispositifs de retenue	X					
	Les portiques de dissuasion des véhicules hors gabarit	inexistantes (Figure D8-P3)	Risque de collision et de frottement des véhicules hors gabarit avec la dalle du pont		X				X
Structure	Etat de la superstructure et l'infrastructure	En bon état apparent de la structure sauf un léger retrait du béton sur le portique en béton armé. (Figure D9-P3)	Aucun danger sur la structure ni même sur l'usager.		X				

TABLEAU DES FIGURES DES DEGRADATIONS :



Tableau IV. 3 : Pont Rail PK 46+600

Evaluation de l'ouvrage 4 :

Trémie Centrale PK46+850									
Types d'élément		Désordres	Critères des classements	Classes					Mention « S »
				1	2	2E	3	3U	
Equipements	Chaussée	aucun défaut apparu (Figure D1-P4)	En bon état	X					
	Bordures trottoirs	Aucun défaut apparent (Figure D2-P4)	En bon état	X					
	Dispositif de retenue	En bon état (Figure D3-P4)	Sécurité des usagers	X					
	Corniches	Un léger éclatement de béton sur corniche du a un passage de véhicule hors gabarit ou a un défaut de réalisation (Figure D4-P4)	Manque d'esthétique pas d'effet sur la sécurité des usagers		X				
	Dispositifs d'évacuation des eaux	Bon état Non boucher	Pas de dégradations	X					
	Joints de chaussées et de trottoirs	Inexistants	Sans effets puisque c'est une trémie	X					
Eléments de protection	La chape d'étanchéité	Aucune information		X					
	Le revêtement de protection anticorrosion des surfaces métalliques (de la structure porteuse et de ses équipements)	Revêtement de protection existant (Figure D3-P4)	Bonne protection des dispositifs de retenue	X					
	Les portiques de dissuasion des véhicules hors gabarit	Existantes (Figure D5-P4)	Les informations sur le gabarit sont mentionnées donc pas de risque de collision	X					
Structure	Etat de la superstructure et l'infrastructure	Très bon état apparent la dalle en béton armé et les murs de soutènement sont en parfait état (Figure D6-P4)	Aucun danger sur la structure ni même sur l'usager.	X					

TABLEAU DES FIGURES DES DEGRADATIONS :



Tableau IV. 4 : Trémie Centrale PK46+850

Evaluation de l'ouvrage 5 :

Pont poutre âme pleine PK 9+290										
Types d'élément		Désordres	Critères des classements	Classes					Mention « S »	
				1	2	2E	3	3U		
Equipements	Chaussée	L'érosion du béton bitumineux de la chaussée causée par le non respect du dévers pour évacuer les eaux pluviales ou le mauvais compactage de la chape du bitume.	-Cause une désorientation du véhicule lors de son passage. -La chaussée est exposée à une dégradation généralisée très rapide lors d'infiltration des eaux.		X					X
	Bordures trottoirs	Aucun défaut apparent (Figure D ₁ -P ₅)	En bon état	X						
	Dispositif de retenue	En bon état (Figure D ₁ -P ₅)	Sécurité des usagers	X						
	Corniches	En bon état (Figure D ₁ -P ₅)	En bon état	X						
	Dispositifs d'évacuation des eaux	Inexistants	Cause une dégradation sur la chaussée		x					
	Joints de chaussées et de Trottoirs	Inexistants	En bon état	X						
Eléments de protection	La chape d'étanchéité	Aucune information		X						
	Le revêtement de protection anticorrosion des surfaces métalliques (de la structure porteuse et de ses équipements)	Revêtement de protection existant (Figure D ₁ -P ₅)	Bonne protection des dispositifs de retenue	X						
	Les portiques de dissuasion des véhicules hors gabarit	Existantes (Figure D ₁ -P ₅)	Risque de collision des véhicules		x					X
Structure	Etat de la superstructure et l'infrastructure	Très bon état apparent (Figure D ₂ -P ₅)	Aucun danger sur la structure ni même sur l'usager.	X						



Figure D₁-P₅



Figure D₂-P₅

Tableau IV. 5 : Pont poutre âme pleine PK 9+290

Evaluation de l'ouvrage 6 :

Pont à câbles PK30+300									
Types d'élément		Désordres	Critères des classements	Classes					Mention « S »
				1	2	2E	3	3U	
Equipements	Chaussée	aucun défaut apparu (Figure D₁-P₆)	En bon état	X					
	Bordures trottoirs	Aucun défaut apparent (Figure D₁-P₆)	En bon état	X					
	Dispositif de retenue Corniches	En bon état (Figure D₁-P₆)	Sécurité des usagers	X					
	Dispositifs d'évacuation des eaux	Bon état Non boucher	Pas de dégradations	X					
	Joints de chaussées et de trottoirs	Inexistants	Sans effets	X					
Eléments de protection	La chape d'étanchéité	Aucune information		X					
	Le revêtement de protection anticorrosion des surfaces métalliques (de la structure porteuse et de ses équipements)	Revêtement de protection existant (Figure D₁-P₆)	Bonne protection des dispositifs de retenue	X					
	Les portiques de dissuasion des véhicules hors gabarit	Existantes (Figure D₂-P₆)	Risque de collision des véhicules		x				
Structure	Etat de la superstructure et l'infrastructure	Très bon état apparent (Figure D₂-P₆)	Aucun danger sur la structure ni même sur l'usager.	X					



Figure D₁-P₆



Figure D₂-P₆

Tableau IV. 6 : Pont à câbles PK30+300

Evaluation de l'ouvrage 7 :

Pont dalle PK 38+000									
Types d'élément		Désordres	Critères des classements	Classes					Mention « S »
				1	2	2E	3	3U	
Equipements	Chaussée	Dégrader (Figure D₁-P₇)	Mauvais				X		X
	Bordures trottoirs	Aucun défaut apparent (Figure D₁-P₇)	En bon état	X					
	Dispositif de retenue	Garde corps en moyen état un peu corrodé et sans réhabilitation de peinture. Manque de glissières de sécurité (Figure D₁-P₇)	-Risque d'endommagement rapide des gardes corps. - risque de chute des véhicules en cas de sortie de la route				x		
	Corniches	Existantes mais non entretenues (Figure D₁-P₇)	Manque d'esthétique pas d'effet sur la sécurité des usagers		X				
	Dispositifs d'évacuation des eaux	n'existe pas	Dégradation de la superstructure avec le temps.				x		
	Joint de chaussées et de trottoirs	Inexistants							
Eléments de protection	La chape d'étanchéité	Aucune information		X					
	Le revêtement de protection anticorrosion des surfaces métalliques (de la structure porteuse et de ses équipements)	Revêtement de protection existant (Figure D₁-P₇)	Bonne protection des dispositifs de retenue	X					
	Les portiques de dissuasion des véhicules hors gabarit								
Structure	Etat de la superstructure et l'infrastructure	Mauvais état apparent la dalle en béton armé sont dégradée (Figure D₂-P₇)	Il y a danger sur la structure ni même sur l'usager.				x		X



Figure D₁-P₇



Figure D₂-P₇

Tableau IV. 7 : Pont dalle PK 38+000

Evaluation de l'ouvrage 8 :

Pont Mixte PK76+150									
Types d'élément		Désordres	Critères des classements	Classes					Mention « S »
				1	2	2E	3	3U	
Equipements	Chaussée	Dégrader (Figure D₁-P₈)	Mauvais				X		X
	Bordures trottoirs	Pas de bordures (Figure D₁-P₈)					X		
	Dispositif de retenue	Garde corps en mauvais état endommagé par accident. Manque de glissières de sécurité. (Figure D₁-P₈)						x	X
	Corniches								
	Dispositifs d'évacuation des eaux								
	Joint de chaussées et de trottoirs								
Eléments de protection	La chape d'étanchéité	Aucune information		X					
	Le revêtement de protection anticorrosion des surfaces métalliques (de la structure porteuse et de ses équipements)	Mauvais	Dégradation de la structure				x		X
	Les portiques de dissuasion des véhicules hors gabarit								
Structure	Etat de la superstructure et l'infrastructure	Mauvais état apparent sont dégradée (Figure D₂-P₈)	Il y a danger sur la structure ni même sur l'utilisateur.				x		X



Figure D₁-P₈



Figure D₂-P₈

Tableau IV. 8 : Pont Mixte PK76+150

Evaluation de l'ouvrage 9 :

Pont Mixte PK55+050									
Types d'élément		Désordres	Critères des classements	Classes					Mention « S »
				1	2	2E	3	3U	
Equipements	Chaussée	aucun défaut apparu (Figure D₁-P₉)	En bon état	X					
	Bordures trottoirs	Aucun défaut apparent (Figure D₁-P₉)	En bon état	X					
	Dispositif de retenue	Garde corps en moyen état un peu corrodé et sans réhabilitation de peinture. Manque de glissières de sécurité. (Figure D₁-P₉)	-Risque d'endommagement rapide des gardes corps. - risque de chute des véhicules en cas de sortie de la route.			X			X
	Corniches	Existantes mais non entretenues (Figure D₁-P₉)	Manque d'esthétique		X				
	Dispositifs d'évacuation des eaux	Bon état Non boucher	Pas de dégradations	X					
	Joints de chaussées et de trottoirs	Inexistants							
Eléments de protection	La chape d'étanchéité	Aucune information		X					
	Le revêtement de protection anticorrosion des surfaces métalliques (de la structure porteuse et de ses équipements)								
	Les portiques de dissuasion des véhicules hors gabarit								
Structure	Etat de la superstructure et l'infrastructure	Très bon état apparent (Figure D₂-P₉)	Aucun danger	X					



Figure D₁-P₉



Figure D₂-P₉

Tableau IV. 9 : Pont Mixte PK55+050

Dans le tableau IV. 10 : Classification par la méthode IQOA, nous présentons le récapitulatif de l'évaluation des 9 ouvrages par la méthode IQOA.

Ouvrages	Classe obtenue pour			Classe finale de l'ouvrage
	Equipements	Eléments de protection	Structures	
Pont PK 44+100	2ES	2E	2	2ES
Pont PK44+700	2ES	3	2ES	3
Pont PK46+600	2E	2	2S	2E
Pont PK 46+850	1	2	1	2
Pont PK9+290	2S	2S	1	2S
Pont PK30+300	1	2	1	2
Pont PK38+000	3S	1	3S	3S
Pont PK76+150	3US	3S	3S	3US
Pont PK55+050	2ES	1	1	2ES

Tableau IV. 10 : Classification par la méthode IQOA.

A travers les résultats du tableau IV. 10 : Classification par la méthode IQOA, nous pouvons conclure que sur les 9 ouvrages évalués :

- 6 ouvrages sont de classe 2 ce qui correspond soit à des défauts mineurs de la structure soit à un mauvais état des équipements.
- 3 ouvrages sont de classe 3, ce qui correspond soit à une structure altérée soit à un manque ou dégradation des éléments de protection.

En analysant en détail les résultats, nous constatons

- qu'en termes de structure les 5 ouvrages sont en bon état.
- Deux ouvrages présentent des défauts mineurs
- Deux ouvrages présentent des défauts majeurs
- En termes d'équipement la majorité des ouvrages nécessitent une intervention immédiate.

IV.3 : Evaluation par la méthode Kubo-Katayama

Evaluation de l'ouvrage 1 : PK 44+300

Voir (Figure IV.1)

Rubrique	Catégorie	Appréciation par catégorie
Type de poutre	Simple	3
Type d'appui	Ordinaire (avec calcul et conception Claire)	1
Hauteur max culée et pile	5 à 10 m	1,35
Nombre de travées	1	1
Largeur min assise du tablier	Largeur: 70 cm ou plus	0,8
Type de fondation	Autres	1
Matériaux culée et colonne	Béton armé ou autre	1

Tableau IV. 11 : Description du pont PK 44+300

Rubrique	Catégorie		Appréciation par catégorie
Type de sole	Moyen: roche détériorée / modérément détériorée		1
Potentiel de liquéfaction	Non liquéfiable		1
Echelle d'intensité sismique (MSK)	MSK=7	MSK < 7,885 7,885 ≤ MSK < 8,680	1 2,1

Tableau IV. 12 : Conditions géologique et sismique du pont PK 44+300

Iv=3,24

Iv=6,80

Evaluation de l'ouvrage 2 : PK 44+700

Voir (Figure IV.2)

Rubrique	Catégorie	Appréciation par catégorie
Type de poutre	Simple	3
Type d'appui	Appui et système de prévention contre la chute des poutres	0,6
Hauteur max culée et pile	5 à 10 m	1,35
Nombre de travées	2 travées ou plus	1,75
Largeur min assise du tablier	Largeur: 70 cm ou plus	0,8
Type de fondation	Pieux	1,4
Matériaux culée et colonne	Béton armé ou autre	1

Tableau IV. 13 : Description du pont PK44+700

Rubrique	Catégorie		Appréciation par catégorie
Type de sole	Moyen: roche détériorée / modérément détériorée		1
Potentiel de liquéfaction	Non liquéfiable		1
Echelle d'intensité sismique (MSK)	MSK=7	MSK < 7,885 7,885 ≤ MSK < 8,680	1 2,1

Tableau IV. 14 : Conditions géologique et sismique du pont PK 44+700

Iv=4,76

Iv=10,00

Evaluation de l'ouvrage 3 : PK 46+600

Voir (Figure IV.3)

Rubrique	Catégorie	Appréciation par catégorie
Type de poutre	Simple	3
Type d'appui	Ordinaire (avec calcul et conception Claire)	1
Hauteur max culée et pile	5 à 10 m	1,35
Nombre de travées	2 travées ou plus	1,75
Largeur min assise du tablier	Largeur: 70 cm ou plus	0,8
Type de fondation	Pieux	1,4
Matériaux culée et colonne	Béton armé ou autre	1

Tableau IV. 15 : Description du pont PK 46+600

Rubrique	Catégorie	Appréciation par catégorie
Type de sole	Moyen: roche détériorée / modérément détériorée	1
Potentiel de liquéfaction	Non liquéfiable	1
Echelle d'intensité sismique (MSK)	MSK=7	1
	MSK < 7,885 7,885 ≤ MSK < 8,680	2,1

Tableau IV. 16 : Conditions géologique et sismique du pont PK 46+600

$I_v=7,99$

$I_v=16,67$

Evaluation de l'ouvrage 4 : PK 46+850

Voir (Figure IV.4)

Rubrique	Catégorie	Appréciation par catégorie
Type de poutre	Simple	3
Type d'appui	Autres (sans support, etc.)	1,1
Hauteur max culée et pile	5 à 10 m	1,35
Nombre de travées	1	1
Largeur min assise du tablier	Largeur: 70 cm ou plus	0,8
Type de fondation	Autres	1
Matériaux culée et colonne	Béton non armé ou maçonnerie	1,4

Tableau IV. 17 : Description du pont PK 46+850

Rubrique	Catégorie	Appréciation par catégorie
Type de sole	Moyen: roche détériorée / modérément détériorée	1
Potentiel de liquéfaction	Non liquéfiable	1
Echelle d'intensité sismique (MSK)	MSK=7	1
	MSK < 7,885 7,885 ≤ MSK < 8,680	2,1

Tableau IV. 18 : Conditions géologique et sismique du pont PK 46+850

$I_v=4,99$

$I_v=10,48$

Evaluation de l'ouvrage 5 : PK 9+290

Voir (Figure IV.5)

Rubrique	Catégorie	Appréciation par catégorie
Type de poutre	Simple	3
Type d'appui	Ordinaire (avec calcul et conception Claire)	1
Hauteur max culée et pile	5 à 10 m	1,35
Nombre de travées	1 Travée	1
Largeur min assise du tablier	Largeur: 70 cm ou plus	0,8
Type de fondation	Pieux	1,4
Matériaux culée et colonne	Béton armé ou autre	1

Tableau IV. 19 : Description du pont PK 9+290

Rubrique	Catégorie		Appréciation par catégorie
Type de sole	Moyen: roche détériorée / modérément détériorée		1
Potentiel de liquéfaction	Non liquéfiable		1
Echelle d'intensité sismique (MSK)	MSK=7	MSK < 7,885 7,885 ≤ MSK < 8,680	1 2,1

Tableau IV. 20 : Conditions géologique et sismique du pont PK 9+290

$I_v=4,54$

$I_v=9,53$

Evaluation de l'ouvrage 6 : PK 30+300

Voir (Figure IV.6)

Rubrique	Catégorie	Appréciation par catégorie
Type de poutre	Simple	3
Type d'appui	Ordinaire (avec calcul et conception Claire)	1
Hauteur max culée et pile	5 à 10 m	1,35
Nombre de travées	1	1
Largeur min assise du tablier	Largeur: 70 cm ou plus	0,8
Type de fondation	Pieux	1,4
Matériaux culée et colonne	Béton armé ou autre	1

Tableau IV. 21: Description du pont PK 30+300

Rubrique	Catégorie		Appréciation par catégorie
Type de sole	Moyen: roche détériorée / modérément détériorée		1
Potentiel de liquéfaction	Non liquéfiable		1
Echelle d'intensité sismique (MSK)	MSK=7	MSK < 7,885 7,885 ≤ MSK < 8,680	1 2,1

Tableau IV. 22 : Conditions géologique et sismique du pont PK 30+300

$$I_v = 4,54$$

$$I_v = 9,53$$

Evaluation de l'ouvrage 7 : PK 38+000

Voir (Figure IV.7)

Rubrique	Catégorie	Appréciation par catégorie
Type de poutre	Simple	3
Type d'appui	Ordinaire (avec calcul et conception Claire)	1
Hauteur max culée et pile	Inférieure à 5 m	1
Nombre de travées	2 travées ou plus	1,75
Largeur min assise du tablier	Largeur: 70 cm ou plus	0,8
Type de fondation	Autres	1
Matériaux culée et colonne	Béton armé ou autre	1

Tableau IV. 23 : Description du pont PK 38+000

Rubrique	Catégorie		Appréciation par catégorie
Type de sole	Très meuble: Sol / dépôt alluvionnaire		1,8
Potentiel de liquéfaction	Liquéfaction: $15 \leq PL$		2
Echelle d'intensité sismique (MSK)	MSK=7	MSK < 7,885	1
		$7,885 \leq MSK < 8,680$	2,1

Tableau IV. 24 : Conditions géologique et sismique du pont PK 38+000

$I_v=15,12$

$I_v=31,75$

Evaluation de l'ouvrage 8 : PK 76+150

Voir (Figure IV.8)

Rubrique	Catégorie	Appréciation par catégorie
Type de poutre	Simple	3
Type d'appui	Autres (sans support, etc.)	1,1
Hauteur max culée et pile	Inférieure à 5 m	1
Nombre de travées	1	1
Largeur min assise du tablier	Largeur: 70 cm ou plus	0,8
Type de fondation	Autres	1
Matériaux culée et colonne	Béton non armé ou maçonnerie	1,4

Tableau IV. 25 : Description du pont PK 76+150

Rubrique	Catégorie		Appréciation par catégorie
Type de sole	Très meuble: Sol / dépôt alluvionnaire		1,8
Potentiel de liquéfaction	Liquéfaction: $15 \leq PL$		2
Echelle d'intensité sismique (MSK)	MSK=7	MSK < 7,885	1
		$7,885 \leq MSK < 8,680$	2,1

Tableau IV. 26 : Conditions géologique et sismique du pont PK 76+150

$$I_v=13,31$$

$$I_v=27,94$$

Evaluation de l'ouvrage 9 : PK 55+050

Voir (Figure IV.9)

Rubrique	Catégorie	Appréciation par catégorie
Type de poutre	Simple	3
Type d'appui	Avec dispositif spécifique (prévention contre la chute des poutres)	0,6
Hauteur max culée et pile	5 à 10 m	1,35
Nombre de travées	2 travées ou plus	1,75
Largeur min assise du tablier	Largeur: 70 cm ou plus	0,8
Type de fondation	Pieux	1,4
Matériaux culée et colonne	Béton armé ou autre	1

Tableau IV. 27 : Description du pont PK 55+050

Rubrique	Catégorie	Appréciation par catégorie
Type de sole	Meuble: sol / diluvial sédimentaire	1,5
Potentiel de liquéfaction	Liquéfaction possible: $0 \leq P_L < 15$	1,5
Echelle d'intensité sismique (MSK)	MSK=7 MSK < 7,885 $7,885 \leq MSK < 8,680$	1 2,1

Tableau IV. 28 : Conditions géologique et sismique du pont PK 55+050

$$I_v=10,72$$

$$I_v=22,50$$

IV.4 : Récapitulatif

Dans le tableau IV. 29 : L'évaluation finale, nous présentons le récapitulatif de l'évaluation des 9 ouvrages par les deux méthodes IQOA et Kubo-katyama.

Ouvrages	IQOA	<i>Kubo-Katayama</i>		Observation
Pont PK 44+300	2ES	MSK < 7,885	Iv=3,24	Intervention équipement
		7,885 ≤ MSK < 8,680	Iv=6,80	
Pont PK44+700	3	MSK < 7,885	Iv=4,76	Intervention structurelle
		7,885 ≤ MSK < 8,680	Iv=10,00	
Pont PK46+600	2E	MSK < 7,885	Iv=7,99	Intervention équipement
		7,885 ≤ MSK < 8,680	Iv=16,67	
Pont PK 46+850	2	MSK < 7,885	Iv=4,92	Intervention élément de protection
		7,885 ≤ MSK < 8,680	Iv=10,48	
Pont PK9+290	2S	MSK < 7,885	Iv=4,54	Intervention élément de protection
		7,885 ≤ MSK < 8,680	Iv=9,53	
Pont PK30+300	2	MSK < 7,885	Iv=4,54	Intervention élément de protection
		7,885 ≤ MSK < 8,680	Iv=9,53	
Pont PK38+000	3S	MSK < 7,885	Iv=15,12	Intervention structurelle
		7,885 ≤ MSK < 8,680	Iv=31,75	
Pont PK76+150	3US	MSK < 7,885	Iv=13,31	Intervention structurelle
		7,885 ≤ MSK < 8,680	Iv=27,94	
Pont PK55+050	2ES	MSK < 7,885	Iv=10,72	Intervention équipement
		7,885 ≤ MSK < 8,680	Iv=22,50	

Tableau IV. 29 : L'évaluation finale

- A travers les résultats du tableau IV. 29 : (L'évaluation finale) nous constatons la majorité des ouvrages présente un indice de vulnérabilité faible. Ceci nous permet de conclure que ces ouvrages présentent une faible probabilité d'endommagement et cela en considérant deux intervalles du niveau de l'intensité sismique.
- Il y a lieu d'indiquer que l'ouvrage situé au PK38+000, présente un indice de vulnérabilité élevé si l'on considère le deuxième niveau d'intensité. Ainsi dans ce cas, il présente une forte probabilité d'endommagement.
- Concernant les deux ouvrages situés aux PK76+150 et PK55+050, ils présentent présente un indice de vulnérabilité moyen si l'on considère le deuxième niveau d'intensité. Ainsi dans ce cas, il présente une moyenne probabilité d'endommagement.

Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons procédé à l'évaluation de 9 ouvrages sur la base de deux méthode d'évaluation à savoir la méthode IQOA et la méthode de kubo-katayama. A travers les résultats obtenus, nous constatons que d'un point de vue structure la majorité des ouvrages sont en bon état. Cependant, d'une point de vue équipement et éléments de protection, la majorité des ouvrages nécessitent une intervention immédiate. Ce qu'il y a lieu d'indique c'est que que l'on considère la méthode IQOA ou la méthode kubo-katayama l'évaluation reste conditionnée par les paramètre de la méthode.

CONCLUSION GÉNÉRAL

Conclusion général

Maîtriser l'information a toujours été une préoccupation majeure, à tous les niveaux et notamment celui des pouvoirs publics. Cet enjeu est essentiel, surtout en ce qui concerne la gestion du réseau routier avec ses différents et nombreux éléments. L'objectif majeur de notre travail a été justement d'essayer de mettre en place un outil de maîtrise de l'information et d'expertise en d'autres termes un « outil d'aide à la décision ».

Dans l'éventualité d'un autre séisme majeur en Algérie, l'intégrité structurale de plusieurs ponts ne pourrait être assurée, d'autant plus que ces ouvrages d'un certain âge présentent des configurations géométriques et mécaniques très similaires à ceux qui ont subi des dommages lors de séismes en Californie (San Fernando, 1971, San Francisco, 1989, et Northridge, 1994). On doit toutefois reconnaître que la situation californienne ne peut être transposée directement au nord de l'Algérie, à cause des différences relatives aux conditions géologiques et aux mouvements des sols.

Les gestionnaires des grandes villes d'Algérie expriment certaines inquiétudes concernant le maintien en service des ponts situés sur des axes routiers critiques après une catastrophe majeure causée par un séisme. La circulation des véhicules d'urgence devrait en effet être assurée. De plus, dans le cas d'une telle situation, il serait souhaitable de disposer d'une technique fiable pour réparer et rétablir la fonction des piles de ponts endommagés. Cependant, l'outil mis en place dans le cadre de ce travail ne constitue que le début d'un énorme projet en collaboration avec la direction des travaux publics de Tizi-Ouzou.

A travers cette étude, nous avons procédé à l'évaluation de 9 ouvrages sur la base de deux méthodes d'évaluation à savoir la méthode IQOA et la méthode de kubo-katayama. A travers les résultats obtenus, nous constatons que d'un point de vue structure la majorité des ouvrages sont en bon état. Cependant, d'un point de vue équipement et éléments de protection, la majorité des ouvrages nécessitent une intervention immédiate. Ce qu'il y a lieu d'indiquer c'est que que l'on considère la méthode IQOA ou la méthode kubo-katayama l'évaluation reste conditionnée par les paramètres de la méthode.

L'étude élaborée constitue un outil d'aide à la décision qui sera mis à la disposition des pouvoirs publics afin de faciliter la gestion et l'exploitation du parc d'ouvrages d'art.

Nous souhaitons par la suite que ce travail soit jumeler avec un outil de système d'information géographique (SIG), afin d'élaborer un système complet d'évaluation et de gestion.

BIBLIOGRAPHIE

- A.PLUMIER.** « Pathologie Et Réparations Structurelles Des Constructions Partie III » ArGenCo, édition (2006).
- J-A.CALGARO, R. LACROIX.** « Pathologie et évaluation des ponts existants ». Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, C4 502, France, (1997).
- F. OUALI.** « Étude statique et pathologique des ouvrages d'art », mémoire de projet de fin d'étude, Université de Blida, Institut de Génie Civil, (2002/2003).
- Défauts apparents des ouvrages d'art en béton, Ministère De L'équipement Français Service d'études Techniques Des Routes Et Autoroutes Laboratoire Central Des Ponts Et Chaussées (1975).
- B. BENBELLIL.** « Réparation des ponts en béton armé ».Mémoire Master. École nationale polytechnique : départements Génie civil. (2013).
- S. M. JOHNSON.** « Dégradation, entretien et réparation des ouvrages du Génie Civil », (Traduction française de M. LONDEZ), Paris, 1969.
- CEREMA.** « Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art ».Annexe A-4, (septembre 2016).
- D. BOUHADOUN, F. BELKACEM.** « Evaluation d'un patrimoine de réservoirs par la détermination de l'indice de vulnérabilité dans un système d'information géographique ». Mémoire Ingénieur. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou : département Génie civil. (2009).
- IMAGE DE LA QUALITE DES OUVRAGES D'ART (IQOA)** « Catalogue des principaux désordres – Aide à leur classification » 'Pont à poutres sous chaussée en béton armé', Service d'Études techniques des Routes et Autoroutes – SETRA, (1996).
- J- A.CALGARO, R.LACROIX.** «Techniques des ingénieurs, Projet de renforcement ou de réparation d'un pont», C4 503.
- LCPC, SETRA** «Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art- Ponts et viaducs en maçonnerie, fascicule 30-31».
- « **GESTION DES OUVRAGES D'ART** » Presses de l'école nationale des ponts et chaussée France, (1994).
- S. M. JOHNSON.** « Dégradation, entretien et réparation des ouvrages du Génie Civil », (Traduction française de M. LONDEZ), Paris, (1969).
- CTTP,** direction de l'exploitation et de l'entretien routiers « Guide de la surveillance des ouvrage d'art », décembre 1996.
- Y. HAMPLAOUI.** «Maintenance, entretien et réparation des ponts ».thèse Magister. Université Mohamed khider : Département Génie civil et hydraulique. Biskra, (2012).
- COTITA CENTRE-EST- CLUB ENTRETIEN ROUTIER.** « Gestion du patrimoine des ouvrages d'Art », (6 Novembre 2012).
- J-A. CALGARO, R. LACROIX.** « Maintenance et réparation des ponts», Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, (1997).
- FAME, GUIDE STRESSE.** « Réparation et rénovation des structures métalliques », Version 2, Novembre (2014).
- COLLOQUE NATIONAL.** « Pathologie des Constructions: Du Diagnostic à la Réparation » Université Mentouri Constantine, Département de Génie Civil 25 et 26 Novembre 2008.
- MINISTERE DU TRANSPORT,** Fascicule 2, « instruction technique pour la surveillance et

l'entretien des ouvrages d'art », 19 octobre 1979.

LCPC, Guide technique, « Investigations et évaluations dynamiques des ponts », 2009.

D.BREYSSE, O.ABRAHAM. « Méthodologie d'évaluation non destructive de l'état d'altération des Ouvrages En Béton », ISBN 2-85978-405-5, Presses de l'École Nationales des Ponts et Chaussées Paris, (2005).

CETE Méditerranée, « Expertiser et contrôler un ouvrage d'art », service communication - Laboratoire-Aix/19 éd. 2005.

Abderrahmane Kibboua*, Mounir Naïli*, Djillali Benouar* « Méthode d'estimation de la vulnérabilité sismique des ponts à poutres isostatiques en béton armé ». * Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS) ** Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB) BP 32, El Alia 16111, Bab Ezzouar, Alger, Algérie.

KACI OUIZA « OUTIL D'AIDE A LA DECISION APPLIQUE AUX OUVRAGES D'ART ». Mémoire Ingénieur. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou : département Génie civil. (20017).

M.BENSAIBI ,M.C.DJEMAI « Estimation de l'indice de vulnérabilité sismique pour les ponts ». Université Saad Dahleb ,Blida ,Algérie .

ANNEXE

Fiche d'Inventaire d'un Ouvrage d'Art

Date de l'inventaire: 05/12/2014 Cliquez ici pour entrer une date.		Inspection conduite par : STP LARBAA NIT IRETHEN		Conditions climatiques : BEAU TEMPS		
Date du Procès verbal : 05/12/2014 Cliquez ici pour entrer une date.		Durée d'inspection: de 25/11/2014 à 15/12/2014 Cliquez ici pour entrer une date.		T° : 22		
Identifiant	Code wilaya	N°de la Route	PK	N°de l'Ouvrage	Visite effectuée par :	M ^{lle} /M ^r Mme
	15	RN12	9+290	01	Profil : Ing <input checked="" type="checkbox"/> Tech <input type="checkbox"/>	OUKOULO.FARIDA M ^{lle} /M ^r
INFORMATIONS ADMINISTRATIVES						
Identification				Localisation		
Maître de l'ouvrage : DTP TIZI-OUZOU Subdivision : L.N.I Commune : L.N.I Maison Cantonnière : L.N.I <u>Groupe d'ouvrage :</u> Pont /Passerelle <input checked="" type="checkbox"/> Tunnel/Trémie <input type="checkbox"/> Viaduc <input type="checkbox"/> Mur soutènement <input type="checkbox"/> <u>Famille d'ouvrage :</u> Béton armé <input checked="" type="checkbox"/> Précontrainte <input checked="" type="checkbox"/> Métallique <input type="checkbox"/> Mixte <input type="checkbox"/> Maçonnerie <input type="checkbox"/> Arc <input type="checkbox"/> Suspendus <input type="checkbox"/> à Haubans <input type="checkbox"/> Autres <input type="checkbox"/> <u>Type Structure de l'ouvrage</u> Pont voute <input type="checkbox"/> Pont poutre âme pleine <input checked="" type="checkbox"/> Pont dalle <input type="checkbox"/> Pont caisson <input type="checkbox"/> Pont cadre <input type="checkbox"/> Ponceau <input type="checkbox"/> Dalot <input type="checkbox"/> Poutrelles enrobés <input type="checkbox"/> Pont en arc <input type="checkbox"/> Pont à câbles <input type="checkbox"/> Viaduc <input type="checkbox"/> Poutres triangulées <input type="checkbox"/> O.Submersible <input type="checkbox"/> O.Semi submersible <input type="checkbox"/> Dénomination de l'ouvrage : TAMDA <u>Type de fonctionnement de la structure :</u> Isostatique <input checked="" type="checkbox"/> Hyperstatique <input type="checkbox"/> Particularités (Présence d'éléments extérieurs d'utilité publics (annexés aux structures de l'ouvrage) *Conduite d'eau (eau potable, eaux usées) <input checked="" type="checkbox"/> *Conduite Câbles (téléphonique, gaz, électricité) <input checked="" type="checkbox"/>				Numérotation de l'ouvrage : 01 Position : PK9+290/PR9+290 Coordonnées (X,Y) : Longitude Latitude <u>Situation de l'ouvrage</u> Rase campagne <input type="checkbox"/> Urbain <input checked="" type="checkbox"/> Périurbain <input type="checkbox"/> Marin <input type="checkbox"/> <u>Voie Portée :</u> Type Numéro RN <input checked="" type="checkbox"/> 12 CW <input type="checkbox"/> CC <input type="checkbox"/> Origine de la voie portée (PK début) : PK 2+000 Extrémité de la voie portée (PK Fin) : PK 24+000 Orientation voie portée : TIZI-OUZOU vers AZAZGA <u>Obstacle Franchie :</u> Oued <input type="checkbox"/> Voie Ferroviaire <input type="checkbox"/> Parking <input type="checkbox"/> Route (RN, CW, CC) <input checked="" type="checkbox"/> Autres (ex :Pont immeuble) <input type="checkbox"/> Hauteur gabarit 5.70(m) largeur chaussée 16.00(m) <u>Sujétions particulières :</u> <u>Zone sismique</u> Zone 0 <input type="checkbox"/> Zone IIa <input checked="" type="checkbox"/> Zone III <input type="checkbox"/> Zone I <input type="checkbox"/> Zone IIb <input type="checkbox"/> Accessibilité de l'ouvrage : (commentaire sur d'accès vers l'ouvrage et aux différentes parties de cet ouvrage) ACCESSIBLE		

Photos de l'ouvrage

Elévation Amont



Elévation val



Vie de l'ouvrage

Conception/Exécution

Statut : OA. Patrimoine OA. Récent
 Date (époque) de construction : ...2013.....
 Epoque coloniale Inconnue
 Date (époque) de mise en service : 2014.....
 Inconnue
 Entreprise de réalisation : COSIDER
 Inconnue
 Bureau d'étude concepteur SAETI
 Inconnue
 Règlement de charges calcul utilisé :...A ,B, C, MC120, D240.....
 Connu Inconnu
 Prise en compte de charges exceptionnelles :
 Oui Non
 Type de convoi :Séisme
 Règlement de référence :

Techniques de construction

Maconnerie
 BA
 BP par prétension
 BP par post tension
 Par encorbellement
 Par poussée

Historique de l'ouvrage

Dossiers d'archives :

Plans : Existe Inexistant
 Notes de calcul : Existe Inexistant
 Levées topographiques : Existe Inexistant
 Etudes de sol : Existe Inexistant
 Rapports d'expertise : Existe Inexistant
 Rapports d'inspection : Existe Inexistant
 Rapport d'auscultation : Existe Inexistant
 PV de visite : Existe Inexistant
 Epreuve de chargement : Existe Inexistant
 Autres documents :.

Travaux d'entretien et de réparation réalisés

Types :Date : Nature:

Entretien courant
 Entretien spécialisé
 Réparations
 Réfection
 Autres :.

Mesures de surveillance spécifiques entreprises :

Mesures de sécurité particulières entreprises:

INFORMATIONS TECHNIQUES	
Données de circulation	Données de Capacité portante
TJMA : Véh / j % Poids Lourds : % Possibilité de déviation à proximité Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> A combien de Km Nom d'un itinéraire de déviation : Longueur de l'itinéraire de déviation Km	Chargement de conception Connu <input type="checkbox"/> Inconnu <input type="checkbox"/> Problème de limitation de charge Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Date de la décision : Cliquez ici pour entrer une date. Poids aux charges légales limites (PTAC) limité <input type="checkbox"/> Illimité <input type="checkbox"/>
Signalisation permanente de l'ouvrage	Hydraulique de l'Ouvrage
Signalisation de prescription : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Signalisation de danger : Panneau relatif à un passage étroit : Existe <input type="checkbox"/> Aucun affichage <input type="checkbox"/> Panneau de limitation de vitesse : Existe <input type="checkbox"/> Aucun affichage <input type="checkbox"/> Panneau de limitation de hauteur du gabarit : Existe <input type="checkbox"/> Aucun affichage <input type="checkbox"/> Panneau de limitation de tonnage : Existe <input type="checkbox"/> Aucun affichage <input type="checkbox"/>	Oued sujet à écoulement Sec <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Important <input type="checkbox"/> <u>Travées concernées par l'écoulement</u> Toutes <input type="checkbox"/> <u>ou</u> Travée N° / / / Oued sujet à inondation/Hauteur des eaux Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> (m) Tracé du lit d'Oued Stable <input type="checkbox"/> Instable <input type="checkbox"/> Méandre <input type="checkbox"/> Rectiligne <input type="checkbox"/> Implantation du lit d'Oued Correcte <input type="checkbox"/> Dangereuse <input type="checkbox"/>
INFORMATIONS DESCRIPTIVES	
Géométrie	
Capacité du Profil en Travers : Nombre de voie de circulation : Route à 1 voie <input type="checkbox"/> Route à 1x2 voies <input type="checkbox"/> Route à 2x2 voies <input type="checkbox"/> Route à 2x3 voies <input checked="" type="checkbox"/> Implantation tracé Correcte <input checked="" type="checkbox"/> Dangereuse <input type="checkbox"/> Particularité géométriques : Biais :0.00gd Droit : gd Rayon : (m) Pente 0.00(%) Devers : 2.50(%)	Dimensions : Longueur totale de l'ouvrage :45.70(m) Longueur du tablier : 25.70 (m) Largeur totale (Sens aller) : 16.90 (m) Largeur chaussée (Sens aller) : 10.50 (m) Largeur circulaire de la chaussée : 10.50 (m) Largeur TPC : 1.50 (m) Largeur totale : (Sens retour) 16.90 (m) Largeur chaussée (Sens Retour) : : 10.50.(m) Largeur circulaire de la chaussée : 10.50.(m) Hauteur libre du gabarit (Tirant d'air) :5.70(m) Longueur de la brèche : 25.70 (m)

INFORMATIONS DESCRIPTIVES

Equipements

Joints de chaussée :

Oui Non Invisibles
 Transversaux Obliques
 Nombre 02 Longueur 32.00(m)

Largeur Ouverture du Souffle 0.10(m)

Type joint de chaussée :ALGA

Abords de la chaussée :

TPC : Avec Sans Largeur 1.50(m)
 Trot G : Avec Sans Largeur 1.50 (m)
 Trot D : Avec Sans Largeur 1.50 (m)
 Accot G : Avec Sans Largeur (m)
 Accot D : Avec Sans Largeur (m)
 Aucun Trottoir /Accotement

Hauteur des bordures de trottoir : 0.20(m)

Type trottoir:Dallettes en béton

Revêtement en BB

Revêtement en Béton

Type joint trottoir Béton

Corniche : Existe N'existe pas

Dispositifs de retenue (Oui /Non) :

Coté Gauche extérieur Coté droit extérieur

Longueur :45.70(m) Longueur : 45.70(m)

TPC coté gauche TPC coté droit

Longueur :0.75 (m) Longueur : 0.75 (m)

Hauteur des dispositifs de retenue :1.10m)

Type :

Glissière de sécurité Garde Corps
 Parapet maçonnerie Parapet béton
 Barrière métallique Sans

Matériau :

Coté gauche

Coté droit

Acier Acier
 Béton Béton
 Maçonnerie Maçonnerie

Appareils d'appuis :

Visible non visible

Nature

Fixe Mobile Absent

Nombre de ligne d'appuis :48.....

Type : Elastomère

Métallique

Section rétrécie de béton

Invisible

Autre

Moyens nécessaires pour leur inspection :

Léger Moyen Lourd

Plots antisismiques

Existe N'existe pas

Système de drainage et d'évacuation des eaux:

Type :

Gargouilles Caniveaux

Barbacanes Absence

Etat :

Correctemal façonné Obstrué

Zone d'influence aux abords de l'ouvrage :

Défauts du Remblai d'accès :

Dénivelée (tassement)

Défaut de joint (fissure)

Talus contigu :

Protégé Non Protégé

Stable Instable

Type de protection :

Gabions Palplanche

Perrés maçonnés Pierres sèches

Végétalisation Parois en BA

Béton projeté Autres.....

INFORMATIONS DESCRIPTIVES

Systèmes structuraux

Tablier

Nombre de travées (Voute ou Arches) : 01

Portée max des travées (m) : 25.70 / / /

Diamètre de voute (m) : / / /

<u>Nature Matériaux</u>		<u>Type</u>	
BA	<input type="checkbox"/>	Travée continues	<input type="checkbox"/>
BP	<input checked="" type="checkbox"/>	Travée indépendante	<input checked="" type="checkbox"/>
Maçonnerie	<input type="checkbox"/>	Voute	<input type="checkbox"/>
Métallique	<input type="checkbox"/>	Portique	<input type="checkbox"/>
Mixte	<input type="checkbox"/>	Cadre	<input type="checkbox"/>
Poutrelles enrobés	<input type="checkbox"/>	Cantilever	<input type="checkbox"/>

Nombre de poutres : 24

Fondations

Type fondation des culées :

Superficielles (sur semelle ou radier)

Profondes (sur Pieux ou Puit)

Type fondation des piles :

Superficielles (sur semelle ou radier)

Profondes (sur Pieux ou Puit)

Fondations immergées

Oui Non

Lequels (Numéros Appuis) / / / /

Affouillement : Visible Inexistant

Amorce d'affouillement Au niveau de quel appui (Numéro) : / / /

Système Protection en place vis à vis de l'affouillement :

Existe inexistant

Type de protection :

Gabionnage Palplanche

Enrochement Radier

Autres types

Indices d'affouillement

Ecoulement rapide et brusque de l'eau

Pente abrupte

PILES

Nombre de piles :

Hauteur des piles : / / / /

Piles avec chevêtre

Oui Non

<u>Nature Matériaux</u>		<u>Type</u>	
BA	<input type="checkbox"/>	Colonne	<input type="checkbox"/>
Maçonnerie	<input type="checkbox"/>	Voile	<input type="checkbox"/>
Métallique	<input type="checkbox"/>	Marteau	<input type="checkbox"/>
Autre	<input type="checkbox"/>	Palée	<input type="checkbox"/>

Fût

CULEES

Type_Culée enterrée Pile culée

Culée remblayé

Hauteur : 7.20(m)

Culée Mur latéral RG (Amont)

<u>Nature Matériaux</u>		<u>Type</u>	
BA	<input checked="" type="checkbox"/>	Aile	<input type="checkbox"/>
Maçonnerie	<input type="checkbox"/>	Retour	<input checked="" type="checkbox"/>
Sans	<input type="checkbox"/>	Quart de cône	<input type="checkbox"/>

Culée Mur de Front

Nature MatériauxTypes

BA Enterrée

Maçonnerie Apparente

Autre Creuse

Mur Garde Grève

Visible Invisible

Nature matériau

BA Maçonnerie

Culées Mur latéral RD (Aval)

Nature MatériauxTypes

BA Aile

Maçonnerie Retour

Sans Quart de cône

